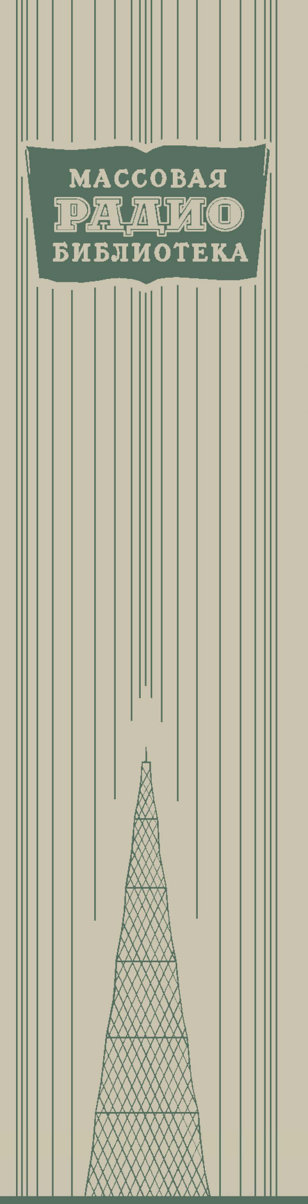
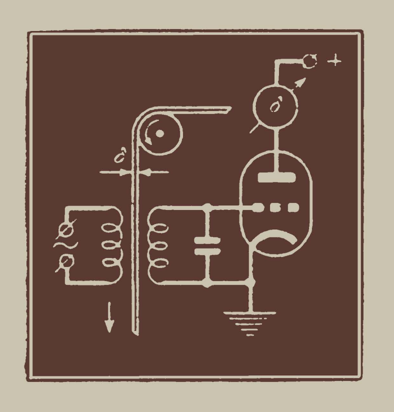


Б. З. МИХЛИН

РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

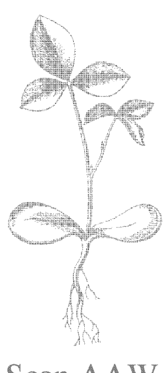
1956

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 258

Б. З. МИХЛИН

РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ







ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1956 ЛЕНИНГРАД

В книге рассматриваются схемы и устройство радиоэлектронных приборов, используемых для автоматического контроля технологических процессов, и даются указания по их практическому выполнению и использованию.

Книга предназначается для подготовленных радиолюбителей, интересующихся приборами производственного контроля.

Михлин Берка Зусьевич

РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ

Редактор *З. Б. Гинзбург* Технич. редактор *В. С. Чернов*

Сдано в набор 3/VIII 1956 г. Подписано к печати 1/XI 1956 г.
Бумага 84×108/32 3,28 п. л. Уч.-изд. л. 3,7
Т-10545 Тираж 55 000 Цена 1 р. 50 к. Зак. 1455

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Современное производство требует исключительно высоких скоростей ведения технологических процессов, большой точности поддержания различных физических параметров (температуры, давления, линейных размеров и др.), характеризующих отдельные технологические операции, а также использования в ряде случаев таких условий осуществления этих процессов, которые в сотни и тысячи раз отличаются по своим параметрам от ранее применявшихся в промышленности.

Скорость прокатки тонкой листовой стали, например, в настоящее время доведена до 35 *м/сек* и более. Весь цикл шлифовки торцов поршневых колец на современных автоматических станках занимает всего несколько десятых долей секунды. Необходимая точность поддержания температуры в ряде химических производств достигает долей градуса. Детали шарикоподшипников сортируются современными контрольными автоматами с точностью до 0,2 *мк* (микрон — 0,001 *мм*).

При очистке магния используется вакуум, близкий по значению к разрежению в баллонах электронных ламп. Такой же вакуум требуется при производстве пенициллина и других химических веществ. В то же время при синтезе аммиака используется давление, достигающее многих тысяч атмосфер.

Приведенные примеры дают некоторое представление о значительной интенсивности современных технологических процессов, высоких требованиях к точности их ведения, а также об огромном диапазоне отдельных параметров, при которых эти процессы осуществляются.

Указанные примеры также характеризуют те серьезные требования, которые предъявляет современная технология к промышленному оборудованию и, в частности, к средствам производственного контроля.

Приборы производственного контроля должны обеспечивать достаточно точные измерения как больших, так и

малых значений ряда физических параметров и отличаться малой инерционностью.

Кроме того, к этим приборам предъявляются требования высокой надежности в работе, так как выход из строя какого-либо контрольного прибора может привести не только к браку продукции, но в отдельных случаях и к серьезным авариям.

Ряду современных производственных условий, как правило, удовлетворяют приборы, обеспечивающие дистанционный контроль, т. е. получение результатов измерений на некотором удалении от места установки воспринимающих элементов приборов.

Перечисленным выше требованиям наиболее полно удовлетворяют приборы, основанные на электрических методах измерений параметров, характеризующих ход технологических процессов. Эти параметры, как правило, являются величинами неэлектрическими, поэтому контроль современного производства основан в подавляющем большинстве случаев на методе электрических измерений неэлектрических величин.

Сущность этого метода заключается в том, что подлежащая определению неэлектрическая величина, например температура, давление, скорость и пр., преобразуется в какой-либо электрический параметр, как-то: э. д. с., емкость, индуктивность, электрическое сопротивление и др., значение которого определяется методами электрических измерений. Иными словами, при измерениях какой-либо неэлектрической величины об ее значении судят по тому или иному электрическому параметру, изменяющемуся по определенному закону, в зависимости от изменения контролируемой неэлектрической величины.

Приборы, построенные на принципах электрических измерений неэлектрических величин, получили в настоящее время большое распространение, и ими успешно осуществляется автоматический контроль большинства параметров, характеризующих важнейшие технологические процессы.

В качестве примера, иллюстрирующего оснащенность производства подобными приборами, можно привести контрольное хозяйство современной доменной печи.

Режим работы доменной печи и входящих в нее агрегатов контролируется более чем в 30 точках указывающими и записывающими измерительными приборами. Они определяют: а) температуру колошникового газа, выхо-

дящего из печи *1* (фиг. 1), газов в верхней части печи *2*, кладки шахты печи в трех ее горизонтах *3*, жароупорного массива *4*, фундамента *5*, отходящих газов воздухонагревателей *6*, *7* и *8*, холодного дутья *9*, горячего дутья *10*, куполов воздухонагревателей *11*, *12* и *13*; б) давление колошникового газа *14*, в межконусном пространстве *15*, в сети охлаждающей воды *16*, *17* и *18*, в сетях сжатого воздуха и пара *19* и *20*, воздуха в трубопроводе горячего дутья *21*, газа в пылеуловителе *22*, холодного дутья *23*, колошникового газа в скруббере *24*, перед горелками воздухонагревателей *25*; в) уровень шихты *26*; г) содержание двуокиси углерода в периферийном газе *27* и колошниковых газах *28*; д) соотношение расхода газа и воздуха в горелках воздухонагревателей *29*, *30*, *31*; е) расход газа в воздухонагревателях *32*, холодного дутья *33*; ж) влагосодержание холодного дутья *34* и другие параметры.

Сложность контрольно-измерительного хозяйства доменной печи не является исключением. В ряде случаев, например при контроле работы мартеновских печей, вращающихся цементных печей, печей для варки стекла, число контролируемых параметров может достигать 30—40 и более.

Какой бы сложной ни была схема прибора для электрических измерений неэлектрических величин, в этой схеме всегда можно выделить четыре основных узла: датчик, измерительную схему, указатель и источник питания, взаимосвязь между которыми показана на фиг. 2.

Важнейшим из этих узлов является чувствительный элемент прибора — датчик, задача которого заключается в преобразовании измеряемой им неэлектрической величины в какой-либо электрический параметр.

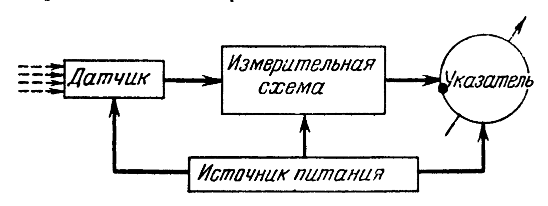
Примером простейшего датчика может служить отрезок медного проводника. Как известно, при изменении температуры среды, окружающей проводник, его электрическое сопротивление изменяется, причем каждому значению температуры соответствует определенная величина сопротивления проводника. Поэтому здесь можно сказать, что рассматриваемый датчик преобразует неэлектрическую величину — температуру — в электрический параметр — сопротивление.

Электрический параметр, в который преобразовалась интересующая нас неэлектрическая величина, измеряется двумя другими узлами прибора — измерительной схемой и указателем.

Фиг. 1. Оснащенность контрольными приборами современной доменной печи.

В отдельных частях измерительной схемы сигнал, вызванный изменением электрического параметра датчика, претерпевает ряд электрических преобразований, в результате которых на выходе схемы появляется достаточная по величине мощность, обеспечивающая нормальную работу указателя.

Электрические преобразования сигнала в отдельных частях измерительной схемы могут заключаться в усилении его по напряжению, току или мощности, в модуляции или демодуляции, в изменении по форме или длительности и т. д. Кроме этого, в некоторых частях измерительной схемы могут осуществляться различные математические операции над сигналом датчика (логарифмирование, возведение в квадрат или иную степень и др.). Цель этих операций — получить желаемую математическую зависимость между измеряемой неэлектрической величиной и выходным напряжением измерительной схемы.



Фиг. 2. Основные узлы прибора для электрических измерений неэлектрических величин.

Указателями могут служить любые указывающие и самопишущие приборы, используемые в технике электрических измерений. Шкалы этих приборов обычно градуируются в единицах измеряемых неэлектрических величин. Так, например, если в качестве указателя при измерении температуры используется милливольтметр, то шкала его градуируется в единицах измерения температуры, т. е. в градусах.

Измерительная схема обычно не содержит источников электрической энергии, поэтому для нормальной работы схемы энергия должна быть подведена извне. Большинство используемых в настоящее время датчиков также нуждается в питании электрической энергией. В ряде случаев электрическая энергия должна подводиться и к указателю.

Для обеспечения указанных узлов электрической энергией в общую схему приборов должен входить также специальный источник питания, содержащий обычно выпрямитель, а часто также один или несколько генераторов.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ДАТЧИКОВ

Общие замечания

В приборах, преобразующих неэлектрические величины в электрические сигналы, датчик является одним из важнейших узлов, определяющих точность и надежность измерений.

Принципиально в качестве датчиков могут быть использованы любые устройства, изменяющие свои электрические параметры под воздействием измеряемой неэлектрической величины. Однако практическое значение имеют только такие датчики, которые обладают достаточным постоянством характеристики преобразования и большой чувствительностью, незначительной инерционностью и малым влиянием на объект измерений.

Характеристикой преобразования датчика называется зависимость между электрическим параметром датчика и измеряемой неэлектрической величиной, т. е.

$$M = f(N), \tag{1}$$

где N — измеряемая неэлектрическая величина;
M — электрический параметр датчика, изменяющийся под воздействием величины N.

Если эта зависимость не остается постоянной в процессе эксплуатации прибора, то могут существенно возрасти погрешности измерений. Поэтому из всех типов датчиков, которые могут быть использованы для измерения какой-либо неэлектрической величины, как правило, выбирают такой тип, который для намеченных условий эксплуатации (пределов изменения температуры, давления, влажности, вибраций, внешних электрических и магнитных полей и т. д.) имеет наибольшее постоянство указанной характеристики.

Чувствительность датчика определяется как отношение изменения электрического параметра датчика к изменению измеряемой неэлектрической величины, т. е.

$$S = \frac{\Delta M}{\Delta N}, \qquad (2)$$

где ΔN — изменение измеряемой неэлектрической величины;

ΔM — изменение электрического параметра датчика при изменении измеряемой величины на ΔN.

При применении датчиков, отличающихся большой чувствительностью, измерительная схема существенно упрощается, так как отпадает надобность в специальных усилительных устройствах. Кроме того, повышается точность измерений, так как при этом меньше сказываются помехи, наводимые на вход измерительной схемы.

Инерционность датчика проявляется в том, что его выходной сигнал принимает соответствующее значение не сразу после изменения неэлектрической величины, а через некоторое более или менее длительное время. При быстро протекающих процессах инерционность датчика может внести значительную погрешность в измерения.

Влияние датчика на измеряемую величину может быть вызвано его воздействием на объект измерений. Так, датчик может нагревать или охлаждать среду, температура которой им измеряется, изменять равномерность потока газа, скорость которого определяется при его помощи, и т. д. Подобное влияние датчика может создавать заметную погрешность.

В технике электрических измерений неэлектрических величин получило распрсстранение большое число разнообразных датчиков, отличающихся по энергетическому режиму питания, электрическому параметру, в который преобразуется измеряемая величина, и ряду других особенностей.

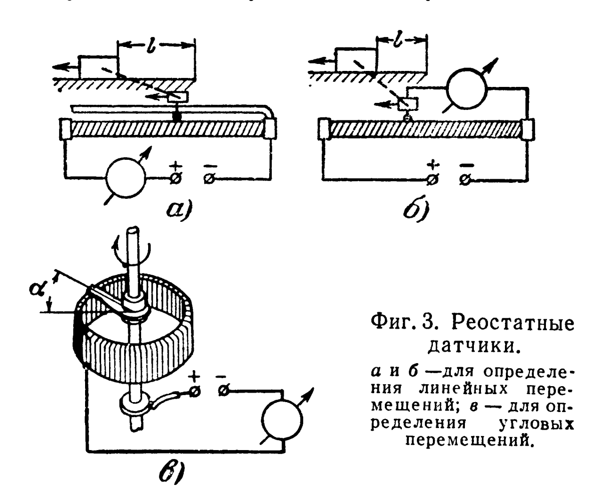
По энергетическому режиму питания датчики могут быть разделены на два больших класса: параметрических и генераторных датчиков.

К первому классу относятся датчики, для нормальной работы которых электрическая энергия должна быть подведена к ним извне, а ко второму — датчики, которые сами являются генераторами электрической энергии. Последние преобразуют измеряемые величины в э. д. с.

Параметрические датчики

Класс параметрических датчиков охватывает большинство их, используемых в приборах для измерений неэлектрических величин. Ниже рассматриваются отдельные типы датчиков этого класса, получившие наиболее широкое распространение.

Реостатные датчики основаны на использовании зависимости сопротивления реостата от положения его движка, который может перемещаться при изменении изме-



Фиг. 3. Реостатные датчики.

а и *б* — для определения линейных перемещений; *в* — для определения угловых перемещений.

ряемой неэлектрической величины. Они чаще всего выполняются в виде реостатов, тщательно намотанных проволокой из специальных сплавов (манганина, константана, фехраля), отличающихся высоким удельным сопротивлением, а также малым температурным коэффициентом электрического сопротивления. Применение проволоки из таких сплавов дает возможность создать реостатные датчики небольших размеров, параметры которых мало зависят от величины протекающего через них тока и температуры внешней среды.

Реостатные датчики находят широкое применение для измерений линейных и угловых перемещений, а также тех неэлектрических величин, которые могут быть преобразованы в такие перемещения.

На фиг. 3 показаны схемы использования реостатных датчиков для определения перемещений деталей механизмов. Фиг. 3,*а* и *б* иллюстрирует применение реостатных дат-

чиков для определения линейных перемещений, а фиг. 3,*в* — для угловых.

Реостатные датчики, включаемые, как показано на фиг. 3,*а*, дают наибольшую чувствительность при использовании низкоомных, а на фиг. 3,*б* — высокоомных указателей. Для получения наибольшей чувствительности в схеме фиг. 3,*в* необходимо включить низкоомный указатель.

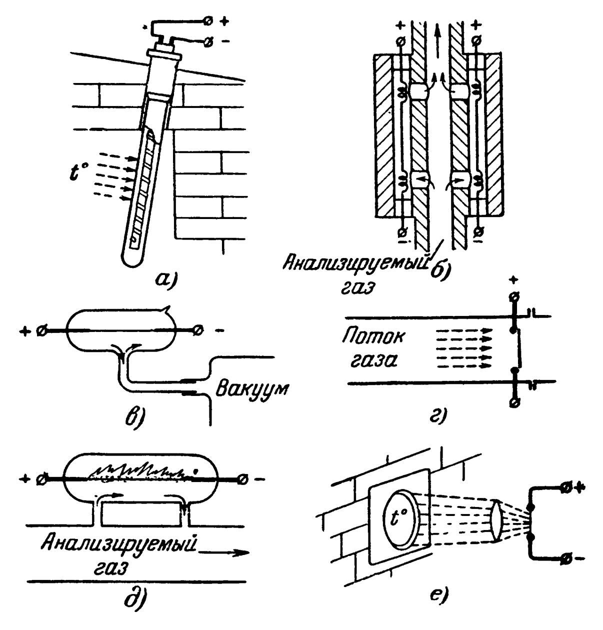
Датчики термосопротивления основаны на использовании свойства проводника изменять свое сопротивление от температуры. Температура любого проводника, а следовательно, и его сопротивление меняются от температуры и теплопроводности окружающей среды, от интенсивности тепловой энергии, падающей на его поверхность, от тепловой энергии, передаваемой ему за счет физико-химических процессов, происходящих на его поверхности, и от ряда других причин. Использование этих явлений дает возможность преобразовать в сопротивление проводника большое число неэлектрических величин, которые могут изменять его температуру.

На фиг. 4 приведены примеры отдельных видов датчиков типа термосопротивления.

На фиг. 4,*а* показан датчик термометра сопротивления, используемого для измерения температур различных сред в интервале от —250 до +500° С, а в отдельных случаях и выше. Датчик термометра сопротивления представляет собой тонкую проволоку из меди, никеля или платины, намотанную на каркас из изоляционного материала. После того как проволока датчика, установленного в месте измерения, нагреется до температуры окружающей среды, ее сопротивление может служить мерой этой температуры.

Фиг. 4,*б* иллюстрирует устройство датчика газоанализатора, основанного на использовании различной теплопроводности контролируемых газов. Принцип работы такого датчика заключается в следующем. Смесь газов с различной теплопроводностью пропускается через каналы датчика, в котором находятся термосопротивления, нагреваемые током. За счет теплопроводности пропускаемой смеси газов от термосопротивления к металлическим стенкам каналов отводится тепло. Если состав смеси изменяется, то изменяется и ее теплопроводность, что ведет к увеличению или уменьшению отвода тепла от термосопротивления к стенкам каналов датчика. В результате этого температура проводника изменяется, что служит показателем изменения состава смеси.

При большом различии в теплопроводности отдельных газов, входящих в смесь, наличие газа с большой или малой теплопроводностью может быть определено с достаточной точностью. Такими датчиками, например, успешно определяется концентрация в воздухе водорода, имеющего в 7 раз бóльшую теплопроводность, чем воздух, углекислого газа,



Фиг. 4. Датчики термосопротивления.

а — для измерения температуры; *б* — для газоанализатора; *в* — для измерения степени разрежения газа; *г* — для измерения скорости газовых потоков; *д* — для термохимического газоанализатора; *е* — для определения температуры накаленного тела.

теплопроводность которого относительно воздуха почти в 2 раза меньше, и ряда других газов.

На фиг. 4,*в* схематично изображен датчик вакуумметра — прибора, служащего для измерения степени разрежения газа. При вакууме теплопроводность газа связана с его давлением. Поэтому, если поместить нагреваемую током тонкую металлическую проволоку в вакуум, сопротивление этой проволоки, зависящее от теплопроводности газа, может служить мерой его давления.

На фиг. 4,*г* дана схема устройства датчика электрического анемометра — прибора для измерения скорости газо-

вых потоков. Датчики этих анемометров обычно представляют собой тонкую платиновую проволоку, нагреваемую проходящим через нее током. Если тонкую проволоку поместить в газовый поток, то ее охлаждение будет тем интенсивнее, чем больше скорость потока. При охлаждении проволоки уменьшается ее сопротивление, благодаря чему по ее сопротивлению можно определить скорость газового потока.

Фиг. 4,*д* отражает сущность работы датчика термохимического газоанализатора. При пропускании смеси газов вблизи нагретого до определенной температуры проводника на его поверхности сгорает газ, который может воспламениться от этого проводника. При сгорании газа происходит выделение тепла, что приводит к увеличению температуры проводника, а следовательно, и к увеличению его сопротивления. По изменению последнего судят о концентрации в смеси сгоревшего газа.

На фиг. 4,*е* показано устройство датчика радиационного пирометра — прибора для определения температуры накаленных тел по величине излучаемой ими тепловой энергии. Часть излучаемой нагретым телом энергии направляется посредством оптической системы на термосопротивление и нагревает его. Происходящее при этом изменение его электрического сопротивления, находящееся в зависимости от лучистого потока нагретого тела, служит показателем величины температуры этого тела.

Практическое применение получили также и многие другие виды датчиков термосопротивления. Они успешно эксплуатируются как датчики приборов для измерения перемещений, углов поворота, влажности воздуха, концентрации твердых частиц в газе и т. д.

Датчики тензосопротивления основаны на изменении сопротивления проводника при его растяжении или сжатии механическими напряжениями, вызываемыми какими-либо внешними силами.

Наиболее широкое распространение получили два вида датчиков такого типа: проволочные и угольные.

Простейший проволочный датчик представляет собой отрезок тонкой изолированной проволоки, наклеенный на деформируемую деталь. При растяжении или сжатии детали одновременно растягивается или сжимается скрепленная с ней проволока. Это приводит к изменению сопротивления проводника как за счет изменения его геометрических размеров, так и вследствие изменения удельного сопротивле-

ния материала проволоки. Последнее меняется главным образом в результате структурных изменений металла при механических напряжениях.

Широкое распространение получили проволочные датчики из константана, нихрома и некоторых других сплавов, удельное сопротивление которых заметно изменяется при механических напряжениях, а температурный коэффициент незначителен.

Конструктивно проволочные датчики выполняются чаще всего в виде бумажной полоски, на которую зигзагообразно наклеивается проволока диаметром в несколько сотых миллиметра.

Рассмотренные датчики нашли особо широкое применение для измерений деформаций в различных конструкциях, так как малые размеры проволочных датчиков позволяют устанавливать их в большом количестве на ограниченной площади. Например, при определении деформаций в различных точках конструкции самолета устанавливается более 1 000 таких датчиков.

Проволочные датчики, выполненные в виде спиралей, успешно используются для измерения давлений, достигающих нескольких тысяч атмосфер. В этом случае сопротивление спирали изменяется за счет всестороннего сжатия материала проводника.

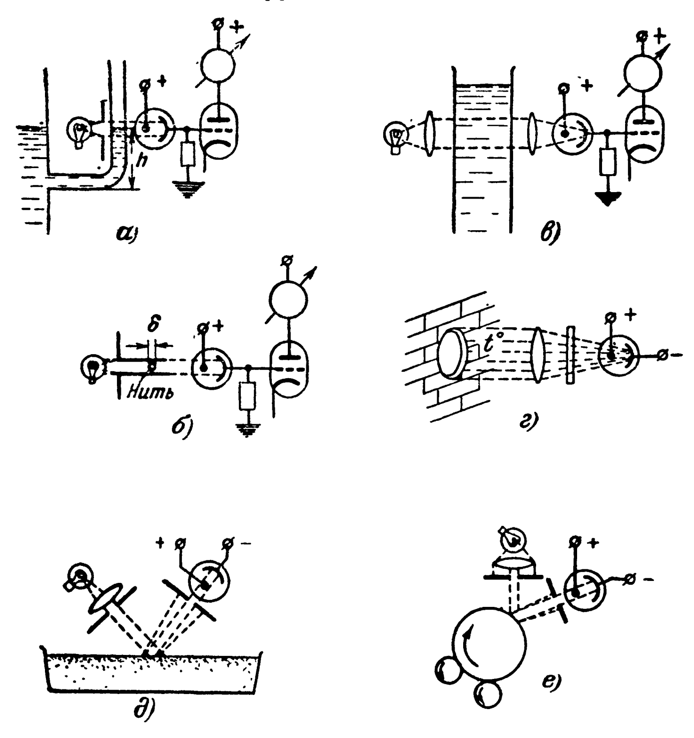
Угольные датчики обладают высокой чувствительностью. Принцип их работы аналогичен принципу работы угольного микрофона: при нажатии на столбик, собранный из дисков электродного угля, переходное сопротивление между дисками изменяется, в результате чего изменяется сопротивление датчика.

Зависимость между сопротивлением датчика и усилием, действующим на него, нестабильна. Она различна при увеличении и уменьшении нагрузки, зависит от температуры и ряда других причин. В связи с этим угольные датчики применяются для измерений, не требующих большой точности.

Датчики фотосопротивления основаны на изменении сопротивления фотоэлементов в зависимости от их освещенности, которая, в свою очередь, зависит от интенсивности излучения источника лучистой энергии, от степени поглощения светового потока средой и экранами, находящимися между источником и фотоэлементом, от оптических свойств поверхности, отражающей световой поток на фотоэлемент, и ряда других факторов, на которые могут

оказывать воздействие измеряемые неэлектрические величины. Это создает возможность осуществить большое число датчиков фотосопротивления различного назначения.

На фиг. 5 приведены некоторые виды датчиков фотосопротивления, в качестве которых принципиально могут быть использованы вакуумные и газонаполненные фотоэле-



Фиг. 5. Датчики фотосопротивления.

а — для измерения уровня непрозрачной жидкости; *б* — для измерения толщины нити; *в* — для измерения концентрации какого-либо вещества в растворе; *г* — для фотоэлектрического пирометра; *д* — для определения качества помола; *е* — для контроля формы роликов.

менты, фотоумножители, а также полупроводниковые фотосопротивления. При этом выбор типа фотоэлемента для конкретного случая определяется требованиями к чувствительности и к спектральной характеристике датчика.

Фиг. 5,*а* дает представление об устройстве датчика для измерения уровня непрозрачной жидкости, например ртути в трубке манометра. Часть узкого пучка света попадает на фотоэлемент и засвечивает его. При соответствующей гра-

дуировке можно получить зависимость между уровнем ртути, изменяющимся в небольших пределах, и освещенностью фотоэлемента, т. е., в конечном итоге, между давлением и сопротивлением фотоэлемента.

На фиг. 5,*б* изображена схема датчика фотосопротивления для измерения толщины нити. В данном случае световой поток, проходящий через щель, зависит от диаметра нити. А так как ток фотоэлемента пропорционален световому потоку, падающему на него, то по току фотоэлемента можно определить толщину нити.

Датчиком фотосопротивления можно измерить также концентрацию какого-либо вещества в растворе, если это вещество изменяет прозрачность среды. На фиг. 5,*в* схематически показано устройство датчика фотосопротивления для этой цели. В зависимости от прозрачности раствора изменяется световой поток, падающий на фотоэлемент, что влечет за собой изменение тока фотоэлемента. Установив зависимость между концентрацией вещества и указанным током, всегда можно проконтролировать концентрацию того или иного вещества в растворе, протекающем через прозрачную трубку.

На фиг. 5,*г* приведен датчик яркостного фотоэлектрического пирометра — прибора для измерения температуры накаленных тел по их яркости. Излучение накаленного тела посредством оптической системы направляется на фотоэлемент, сопротивление которого, а следовательно и ток через него, будет изменяться в зависимости от интенсивности излучения, т. е. от температуры накаленного тела. Измерив ток фотоэлемента, можно определить температуру этого тела.

В зависимости от величины частиц твердого вещества изменяется их отражающая способность. Этот эффект может быть использован для определения качества помола твердых веществ. На фиг. 5,*д* показана схема прибора для определения размеров твердых частиц после помола. Свет от лампы узким пучком падает на поверхность размельченного вещества. В зависимости от тонкости помола бо́льшая или меньшая часть света лампы отражается и попадает на фотоэлемент. Это приводит, как уже указывалось выше, к изменению тока фотоэлемента, по величине которого можно определить качество помола.

На фиг. 5,*е* показан случай применения фотоэлемента для контроля формы роликов. При вращении правильно выполненных роликов интенсивность светового потока, па-

дающего на фотоэлемент, будет максимальной. При искривлении поверхности ролика направление отраженного луча изменится, что приведет к уменьшению светового потока, падающего на фотоэлемент. По величине изменения сопротивления фотоэлемента можно судить о правильности формы ролика.

Датчики фотосопротивления находят применение также в приборах для контроля ширины непрозрачных лент, угла поворота механизмов, толщины прокатываемых стальных пластин (при помощи просвечивания этих пластин рентгеновскими лучами, к которым чувствительны, например, серно-кадмиевые фотосопротивления) и во многих других случаях.

В датчиках ионизационного сопротивления или ионизационных датчиках используется зависимость ионизационного тока между двумя электродами от физических свойств находящегося между ними газа.

Величина ионизационного тока зависит от многих факторов, изменяющих электрическое сопротивление газового промежутка между электродами, что дает возможность по значению этого тока контролировать большое число неэлектрических величин (плотность и состав газов, механические перемещения, углы поворота, толщину материалов, уровень жидкостей и ряд других).

Особенно широкое распространение получили ионизационные датчики после внедрения в технику измерений радиоактивных излучателей. В последнее время благодаря возможности получения в больших количествах искусственных радиоактивных веществ в атомных реакторах применение этих датчиков значительно возросло.

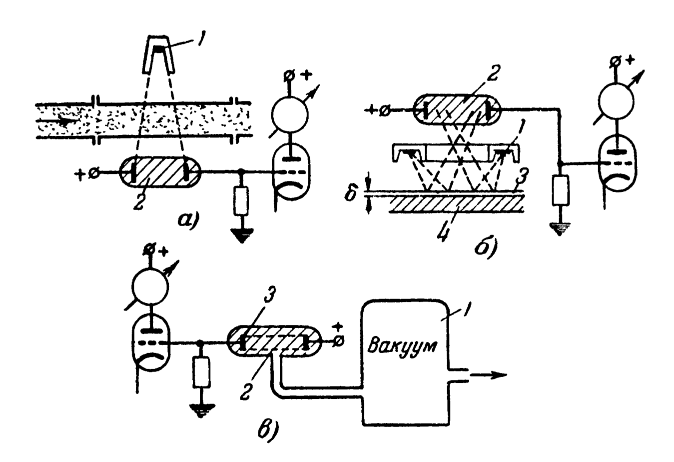
Конструктивно ионизационные датчики чаще всего оформляются в виде небольших по размеру камер, внутри которых располагаются два электрода. Радиоактивный излучатель в большинстве приборов размещается сбоку и излучение от него попадает в камеру через боковые стенки. В некоторых же случаях излучатель помещается непосредственно внутри камеры.

Как известно, радиоактивное излучение способно проникать через относительно толстые слои жидкости и твердых тел, в частности, через стенки металлических сосудов. Это создает возможность осуществлять измерения в тех случаях, когда все другие методы не могут быть применены. Так, например, измерения уровня расплавленного металла, находящегося в закрытом резервуаре, а также измерения

в резервуарах с давлением в несколько тысяч атмосфер практически могут быть осуществлены только при помощи ионизационных датчиков.

На фиг. 6 приведено несколько примеров применения рассматриваемых датчиков для измерений.

Фиг. 6,*а* дает понятие о способе измерений ионизационными датчиками плотности пульпы (смеси грунта с водой) в земснарядах. Стальная труба, в которой проходит пульпа, просвечивается радиоактивным излучением от источника *1*. Ионизационный датчик *2* воспринимает излучение,



Фиг. 6. Ионизационные датчики.

а — для измерения плотности пульпы; *б* — для измерения толщины покрытия одного металла другим; *в*—для контроля степени вакуума.

прошедшее через пульпу. Чем большее количество грунта содержится в пульпе и чем больше ее плотность, тем в большей степени поглощается радиоактивное излучение. По величине ионизационного тока, вызванного излучением, можно судить о плотности пульпы.

На фиг. 6,*б* показана схема измерения толщины покрытия одного металла другим. Радиоактивное излучение от источника *1* направляется на поверхность изделия и отражается от него к ионизационному датчику *2*. Интенсивность отраженного излучения зависит от толщины и плотности материала покрытия *3*, а также от плотности материала основания *4*.

При изменении толщины покрытия, отличающегося по своей плотности от основания, изменяется и интенсивность

отраженного излучения. Это приводит к изменению ионизационного тока датчика.

На фиг. 6,*в* показано применение ионизационных датчиков для контроля степени вакуума. Сосуд *1*, из которого выкачивается газ, сообщается с ионизационной камерой *2*. Ионизационный ток этой камеры при стабильности излучателя *3* зависит от степени вакуума в сосуде, поэтому по величине этого тока можно определить и степень вакуума.

Сопротивление ионизационного промежутка между электродами, как правило, весьма велико и в некоторых случаях достигает величины 10^{10} *ом* и более. В связи с этим измерение токов ионизационных датчиков производится специальными электрометрическими схемами, которые будут рассмотрены в гл. 3.

Датчики электронного сопротивления или электронные датчики основаны на зависимости между анодным током электронной лампы и расстоянием между ее электродами.

Конструктивно простейший электронный датчик представляет собой диод, анод которого закреплен на жестком стержне, выведенном из баллона лампы через эластичное дно колбы. При перемещении этого стержня изменяется расстояние между анодом и катодом лампы, что приводит к изменению тока в ней. Определяя изменение этого тока, можно установить изменение расстояния между электродами.

В последнее время стали изготовлять электронные датчики более сложных конструкций. Они используются как датчики электронных микрометров, приборов для измерений ускорений (акселерометров) и в ряде других случаев. Надо полагать, что малые габариты и большая чувствительность рассматриваемых датчиков обеспечат им широкое распространение в технике измерений неэлектрических величин.

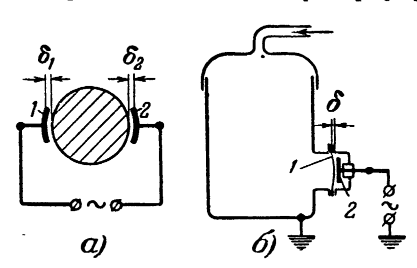
Емкостные датчики основаны на зависимости емкости конденсатора от площади его обкладок или расстояния между ними, а также диэлектрической проницаемости его диэлектрика.

На фиг. 7 и 8 приведены некоторые виды емкостных датчиков, нашедших практическое применение.

На фиг. 7,*а* показана схема датчика емкостного микрометра для измерения размеров вала в процессе его шлифования. При изменении диаметра вала, вращающегося вокруг фиксированной оси, изменяется зазор между поверхностью вала и жестко укрепленными пластинами *1* и *2* датчика.

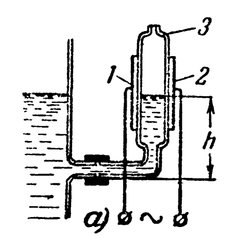
Очевидно, что при увеличении этого зазора емкость датчика будет уменьшаться. Регистрируя эту емкость, можно определить диаметр вала.

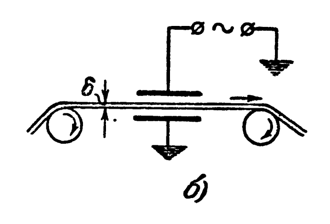
На фиг. 7,*б* показан емкостный датчик манометра для измерения давления в резервуаре. В этом манометре в качестве чувствительного элемента используется мембрана *1*, перемещение которой регистрируется емкостным датчиком, составленным из указанной мембраны и неподвижной пластины *2*.



Фиг. 7. Емкостные датчики.
а — для измерения размеров вала в процессе его шлифования; *б* — для манометра.

Фиг. 8,*а* изображает емкостно-диэлектрический датчик уровнемера, измеряющего уровень жидкости в котле. Между обкладками конденсатора *1* и *2*, охватывающими трубку из диэлектрика, находится жидкость на таком же уровне, как и в котле. Емкость этого конденсатора зависит от того, на какую высоту в конденсаторе поднялась жидкость. Поэтому, измеряя емкость конденсатора, можно контролировать уровень жидкости в котле.





Фиг. 8. Емкостно-диэлектрические датчики.
а — для измерения уровня жидкости в котле; *б* — для измерения толщины ленты из диэлектрика.

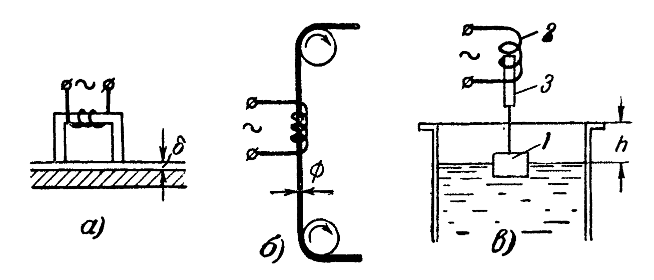
На фиг. 8,*б* дана схема датчика прибора, измеряющего толщину ленты из диэлектрика. Благодаря различию диэлектрических постоянных воздуха и материала ленты изменение толщины ленты приводит к изменению емкости датчика. В связи с этим емкость датчика отражает толщину контролируемой ленты.

Индуктивные датчики основаны на зависимости между индуктивностью дросселя, длиной и площадью

сечения его сердечника, длиной немагнитных зазоров, разделяющих отдельные его части, а также взаимным расположением частей магнитопровода и обмоток дросселя.

Для измерений используются как датчики, в которых измеряемая неэлектрическая величина воздействует на длину немагнитного зазора, так и датчики, в которых эта величина изменяет размеры сердечника и расположение его относительно обмоток.

На фиг. 9,*а* приведен пример датчика первого вида, а на фиг. 9,*б* и *в* — датчиков второго вида



Фиг. 9. Индукционные датчики.

а — для измерений немагнитных покрытий на стали; *б* — для контроля диаметра стальной проволоки; *в* — для измерения уровня жидкости.

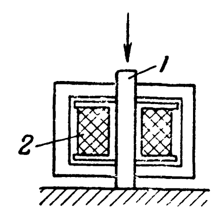
Длина немагнитного зазора в датчике прибора для измерения толщины немагнитных покрытий на стали (фиг. 9,*а*) изменяется за счет толщины этого покрытия. В приборе для контроля диаметра стальной проволоки применяется датчик (фиг. 9,*б*), в котором изменяются размеры сердечника, т. е. диаметр контролируемой проволоки. На фиг. 9,*в* приведена схема датчика прибора для измерения уровня жидкости. В этом датчике измеряемая неэлектрическия величина — перемещение поплавка *1*, изменяет индуктивность дросселя за счет изменения взаимного расположения обмотки *2* и сердечника *3*.

Магнитоупругие датчики основаны на зависимости между магнитной проницаемостью сердечника дросселя и механическими напряжениями, вызванными в нем внешними силами.

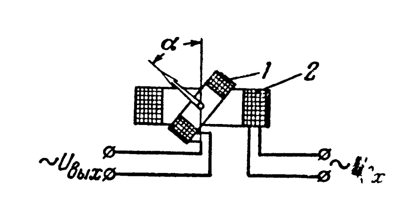
На фиг. 10,*а* дана схема конструкции магнитоупругого датчика прибора для измерения больших усилий (до 10 *т*). Воспринимающим элементом этого датчика является короткий стальной стержень *1*. При сжатии этого стержня магнитная проницаемость его материала изменяется. В резуль-

тате этого изменяется индуктивное сопротивление обмотки 2, магнитный поток которой проходит через указанный стержень. Мерой усилия, действующего на стержень, служит изменение индуктивного сопротивления дросселя, вызванное изменением его магнитной проницаемости.

Трансформаторные датчики основаны на использовании зависимости коэффициента связи обмоток трансформатора от магнитного сопротивления его сердечника. Коэффициент связи под воздействием измеряемой величины может быть изменен за счет длины немагнитного



Фиг. 10. Магнитоупругий датчик.



Фиг. 11. Вариометрический датчик.

зазора магнитопровода или магнитной проницаемости одного из его участков. Датчики рассматриваемого типа могут быть применены в тех же случаях, как и датчики индуктивного типа.

Конструктивное отличие трансформаторных датчиков от индуктивных заключается лишь в том, что у первых на магнитопроводе размещается не одна, а две обмотки.

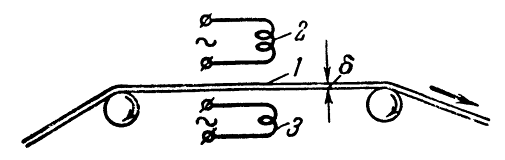
Вариометрические датчики основаны на использовании зависимости между коэффициентом связи двух обмоток и их взаимного расположения. В датчиках этого типа коэффициент связи изменяется либо за счет изменения расстояния между обмотками, либо за счет поворота одной обмотки относительно другой.

Примером может служить вариометрический датчик для измерения угла поворота, приведенный на фиг. 11. При повороте рамки 1 изменяется э. д. с., индуктируемая в ней магнитным потоком обмотки 2. Между величиной этой э. д. с. и углом поворота рамки существует вполне определенная зависимость, которая дает возможность судить об угле поворота рамки по величине указанной э. д. с.

Экранные датчики основаны на изменении коэффициента связи обмоток трансформатора под влиянием

размагничивающего действия вихревых токов, возникающих в проводниках, расположенных вблизи указанных обмоток.

Характерный пример такого датчика приведен на фиг. 12. Металлическая лента *1* пропускается между двумя обмотками *2* и *3*. В обмотку *2* подается ток повышенной частоты. Поле этого тока индуктирует в обмотке *3* э. д. с., величина которой зависит от толщины ленты и удельного сопротивления ее материала. Вихревые токи, возникающие в ленте, создают поле, направление которого противоположно полю обмотки *2*. Поэтому с увеличением толщины ленты э. д. с. обмотки *3* падает.



Фиг. 12. Экранный датчик.

Рассматриваемые датчики могут быть использованы для определения толщины прокатываемых лент, удельного сопротивления их материала, расстояний до металлических поверхностей, а также и ряда других неэлектрических величин.

Генераторные датчики

К этому классу относятся следующие основные типы датчиков: индукционный, термоэлектрический, фотоэлектрический, пьезоэлектрический.

Индукционные датчики основаны на использовании зависимости э. д. с., индуктируемой в катушке, от скорости изменения магнитного потока, охватывающего витки этой катушки.

Конструктивно индукционные датчики выполняются чаще всего в виде небольших генераторов постоянного или переменного тока. В некоторых приборах используются датчики, выполненные конструктивно подобно электромагнитным звукоснимателям для воспроизведения граммофонной записи.

Датчики рассматриваемого типа широко используются в тахометрах, приборах для измерения ускорений и перемещений.

Термоэлектрические датчики (термопары) основаны на зависимости э. д. с., возникающей в элек-

трической цепи, составленной из двух разнородных проводников, от разности температур в местах их соединений. Одна точка соединения проводников, составляющих термопару, называется рабочим, а вторая — свободным концом термопары.

Примечательной особенностью термоэлектрических датчиков является тот факт, что их характеристика преобразования не зависит от размеров или формы проводников, а также от способа их соединения. Она определяется только материалами проводников, составляющих термопару.

Из всех существующих металлов и их сплавов практическое применение для производства термопар нашло только их небольшое число. Наиболее хорошо работают термопары из сплавов, получивших название хромель, алюмель и копель (сплавы никеля с хромом, алюминием, медью и некоторыми другими неблагородными металлами), а также термопары из платины и сплава платины с родием, являющимся, как и платина, благородным металлом. Эти термопары отличаются хорошей стабильностью характеристик. Термопары из неблагородных металлов используются для измерения температур от —250 до +1 100° С, а из благородных — до +1 600° С.

В последнее время практическое применение находят термопары, выполненные из полупроводников. Они отличаются весьма высокой чувствительностью, однако их стабильность невысока.

Ф о т о э л е к т р и ч е с к и е д а т ч и к и основаны на использовании зависимости тока в цепи вентильного фотоэлемента от его освещенности.

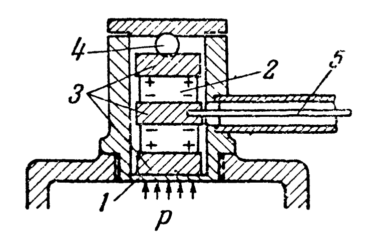
Вентильные фотоэлементы являются генераторными датчиками и не нуждаются в источниках питания, в чем и заключается их преимущество перед фотоэлементами (параметрическими датчиками), рассмотренными выше. Однако им присущи крупные недостатки: малая чувствительность по напряжению, большая зависимость характеристик от температуры, заметная инерционность.

Фотоэлектрические датчики могут быть использованы принципиально в тех же случаях, как и датчики фотосопротивления, рассмотренные ранее. Однако в связи с указанными недостатками их применение ограничивают случаями, когда трудно использовать какой-либо источник питания.

П ь е з о э л е к т р и ч е с к и е д а т ч и к и основаны на использовании электрических зарядов, возникающих на гранях кристаллов некоторых веществ при их деформации.

Возникновение зарядов при деформации кристаллов связано с явлением так называемого пьезоэлектрического эффекта. Пьезоэлектрическим эффектом обладают кристаллы кварца, турмалина, сегнетовой соли и др. В измерительной технике наибольшее применение нашли кварцевые пьезоэлектрические датчики, так как они обладают большей стабильностью.

Пьезоэлектрические датчики особо успешно применяются для измерений быстро протекающих процессов (вибрации, смещения, давления и пр.), для регистрации которых другие датчики не могут быть использованы в связи с их инерционностью.



Фиг. 13. Пьезоэлектрический датчик для измерения больших давлений.

На фиг. 13 показано устройство пьезоэлектрического датчика для измерения больших давлений. Измеряемое давление p действует на мембрану *1*, являющуюся дном датчика. Усилие мембраны передается на кварцевые пластины *2*, зажатые между тремя металлическими прокладками *3*, верхняя из которых упирается в шарик *4*. К средней пластине присоединяется вывод датчика *5*, с которого к измерительной схеме подается отрицательный потенциал, снимаемый при сжатии кварцевых пластинок.

Приведенная конструкция пьезоэлектрического датчика позволяет обеспечить высокую изоляцию вывода *5* от корпуса, так как только при этом может быть обеспечена практически приемлемая точность измерения относительно медленно изменяющихся давлений.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ВАЖНЕЙШИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

Мостовые схемы

В электрических приборах для измерений неэлектрических величин широкое применение получили мостовые схемы.

Простейшая мостовая схема (фиг. 14) состоит из четырех сопротивлений R_1, R_2, R_3 и R_4, которые составляют плечи моста. Источник питания (напряжение $U_{вх}$) вклю-

чается в одну диагональ моста, а выходное напряжение моста $U_{вых}$ снимается с другой его диагонали (измерительной).

Если напряжение $U_{вых}$ подается на нагрузку, имеющую весьма высокое сопротивление, например на сетку электронной лампы, то выходное напряжение моста может быть определено из следующей зависимости:

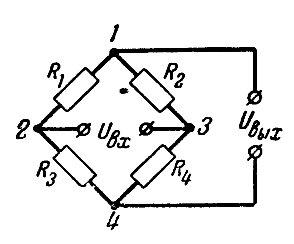
$$U_{вых} = U_{вх} \frac{R_1R_4 - R_2R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \,. \tag{3}$$

Дробь в этой формуле равна нулю при условии

$$R_1R_4 - R_2R_3 = 0. \tag{4}$$

Это условие всегда выполняется при измерениях для уравновешенных мостов. Для неуравновешенных же мостов оно не выполняется, в связи с чем на их измерительной диагонали всегда имеется некоторая разность потенциалов.

В радиоэлектронных приборах мостовые схемы обычно используются для определения изменений сопротивлений датчиков, включаемых в плечи мостов. Для этих измерений находят применение как уравновешенные, так и неуравновешенные мосты.



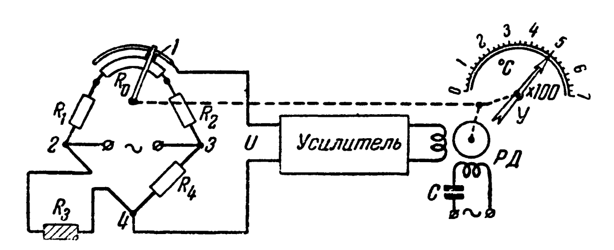
Фиг. 14. Простейшая мостовая схема.

Величина изменения сопротивления датчика в схеме неуравновешенного моста определяется по его выходному напряжению, соответствующему изменению указанного сопротивления. В схеме уравновешенного моста величина изменения сопротивления датчика определяется обычно по изменению сопротивления одного или двух плеч моста, которое приводит мост к равновесию.

При применении уравновешенных мостов, как будет выяснено ниже, удается достичь высокой точности измерений. В связи с этим приборы, в схемах которых используются уравновешенные мосты, получили в промышленности широкое распространение.

В производственных условиях при непрерывных измерениях уравновешивание мостов должно производиться автоматически. Для этой цели в настоящее время используются электронные автоматические уравновешенные мосты.

На фиг. 15 приведена принципиальная схема такого моста. Он может быть использован для измерений любых неэлектрических величин, преобразованных в величину сопротивления. В качестве примера рассмотрим работу этого моста при измерении температуры термосопротивлением, составляющим плечо моста. Как видно из фиг. 15, в измерительную схему моста для указанных измерений входят термосопротивление R_3 и сопротивления R_1, R_2, R_4, а также сопротивление реохорда R_0. Усилитель и реверсивный двигатель *РД* являются узлами так называемой следящей системы автоматического моста.



Фиг. 15. Схема автоматического уравновешенного моста.

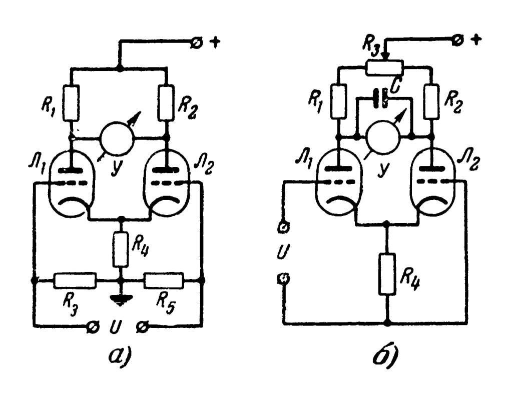
Реверсивный двигатель имеет на статоре две обмотки: управляющую обмотку, включенную на выходе усилителя, и обмотку возбуждения, включаемую через конденсатор *C* в электросеть. Благодаря особому размещению обмоток статора и сдвигу фаз тока в них на 90° за счет конденсатора *C* направление вращения двигателя зависит от фазы напряжения управляющей обмотки, а следовательно, фазы напряжения *U*.

Если мост уравновешен, то на выходе усилителя напряжение отсутствует, и ротор двигателя не вращается. При нарушении равновесия моста за счет изменения термосопротивления на его выходе появляется напряжение, которое усиливается и подается на управляющую обмотку реверсивного двигателя. В результате этого ротор двигателя начинает вращаться и перемещать движок реохорда до такого положения, при котором мост уравновешивается.

Каждому значению величины термосопротивления, а следовательно и контролируемой температуры, соответствует определенное положение движка реохорда и стрелки указателя *У*, механически связанной с движком. Очевидно, что двигатель может быть нагружен также системой, записывающей показания прибора.

К мостовым схемам могут быть отнесены и так называемые ламповые мосты. Они используются обычно для измерения напряжений.

Наиболее распространенная схема лампового моста приведена на фиг. 16,*а*. Плечи моста составляют сопротивления R_1 и R_2 и статические сопротивления ламп $Л_1$ и $Л_2$. Измеряемое постоянное напряжение U подается на сетки ламп $Л_1$ и $Л_2$. Если это напряжение подано так, что на сетку левого триода оно поступает в положительной полярности, а на сетку правого в отрицательной, то сопротивление постоянному току лампы $Л_1$ уменьшается, а лампы $Л_2$ увеличивается. В результате этого равновесие лампового моста нарушается, и стрелка указателя $У$, включенного между анодами ламп, отклоняется на некоторый угол. При изменении полярности этого напряжения стрелка указателя отклоняется в другую сторону на такой же угол.



Фиг. 16. Схемы ламповых мостов.

а — для измерения напряжений постоянного тока; *б* — для измерения напряжений переменного тока.

В рассматриваемую схему лампового моста включены вспомогательные сопротивления R_3, R_4 и R_5. Сопротивление R_4 предназначено для создания отрицательного смещения на сетки ламп $Л_1$ и $Л_2$, а сопротивления R_3 и R_5 образуют делитель, посредством которого измеряемое напряжение распределяется между сетками указанных ламп. Рассматриваемый ламповый мост в случае отсутствия напряжения U будет в равновесии, если при одинаковых сопротивлениях R_1 и R_2 равны между собой также и статические сопротивления ламп $Л_1$ и $Л_2$.

Подбор ламп с одинаковыми статическими сопротивлениями представляет собой большие трудности. Поэтому первоначальное равновесие моста устанавливается обычно подбором одного из сопротивлений R_1 или R_2.

Для ламп, работающих в мостовых схемах, большое значение имеет равенство их динамических сопротивлений и зависимость изменений их анодного тока от напряжения накала. Только при идентичности указанных характеристик в достаточно широких пределах изменения анодного и накального напряжений не вызывают заметных погрешностей измерений.

Для одинаковых ламп $Л_1$ и $Л_2$ при условии $R_1 = R_2 = R_a$ коэффициент усиления лампового моста

$$K = \frac{\mu}{1 + \frac{R_i}{R_a} + \frac{2R_i}{R_y}}, \qquad (5)$$

где R_y — сопротивление указателя;
R_i — внутреннее сопротивление лампы;
R_a — сопротивление анодной нагрузки;
μ — коэффициент усиления лампы.

На фиг. 16,*б* показана схема лампового моста, используемого для измерений напряжения переменного тока. В этой схеме переменное напряжение U, поступающее на сетку лампы $Л_1$, выпрямляется последней. В результате этого изменяется постоянная составляющая ее анодного тока, что приводит к возникновению разности потенциалов между анодами ламп $Л_1$ и $Л_2$. Ток, пропорциональный этой разности потенциалов, регистрируется указателем *У*.

При неравенстве статических сопротивлений ламп, входящих в схему, как уже отмечалось выше, мост при отсутствии напряжения U будет неуравновешен. Для уравновешивания моста служит переменное сопротивление R_3, перемещением движка которого можно добиться отсутствия тока в указателе при снятом напряжении U.

Указатель в ламповых мостах переменного тока, как правило, шунтируется блокировочным конденсатором C, через который проходит переменная составляющая тока диагонали моста.

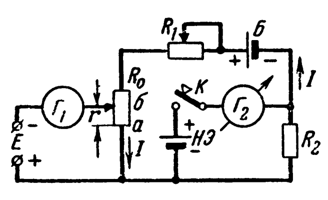
Сопротивление R_4, включенное в катоды ламп, обеспечивает отрицательное смещение на сетках ламп $Л_1$ и $Л_2$ за счет тока через эти лампы.

Компенсационные схемы

Компенсационные измерительные схемы, обеспечивающие весьма высокую точность измерений, приобретают в области электрических измерений неэлектрических величин все большее и большее значение.

Эти схемы используются для измерений э. д. с. генераторных датчиков и выходных напряжений отдельных узлов измерительных схем.

В последнее время компенсационные измерительные схемы в радиоэлектронных приборах для электрических измерений неэлектрических величин находят применение также и при сравнении двух неэлектрических величин, разность которых преобразуется в электрическую величину. Рассмотрим сущность работы компенсационных измерительных схем.



Фиг. 17. Простейшая компенсационная схема для измерений э. д. с. постоянного тока.

Измерение э. д. с. компенсационными схемами основано на взаимном уравновешивании измеряемой э. д. с. и известного падения напряжения на участке переменного сопротивления. Простейшая компенсационная схема для измерений э. д. с. постоянного тока приведёна на фиг. 17.

В этой схеме так называемый рабочий ток I создает равномерное падение напряжения вдоль реохорда R_0. Измеряемая э. д. с. через гальванометр $Г_1$ подается между точками *а* и *б*. Точка *а* совпадает с началом реохорда R_0, а точка *б* — с положением движка, скользящего по этому реохорду.

Если измеряемая э. д. с. меньше падения напряжения на реохорде, то всегда можно найти такое положение движка, при котором э. д. с.

$$E = Ir, \qquad (6)$$

где r — сопротивление участка *аб* реохорда.

При положении движка в точке *б* ток через гальванометр $Г_1$, очевидно, равен нулю, и компенсационная схема уравновешена.

Сопротивление r представляет собой часть сопротивления R_0, поэтому при равновесии рассматриваемой схемы

$$E = IR_0\alpha, \qquad (7)$$

где $\alpha = \frac{r}{R_0}$.

Как видно из последнего равенства, измеряемая э. д. с. E вполне определяется положением движка реохорда, если сопротивление R_0 и ток I неизменны.

Постоянство сопротивления R_0 обеспечивается материалом, из которого изготовляется реохорд. Реохорды чаще всего выполняются из специальных сплавов, отличающихся высокой стабильностью, например манганина. Постоянство рабочего тока обеспечивается его весьма точным измерением и периодическим регулированием.

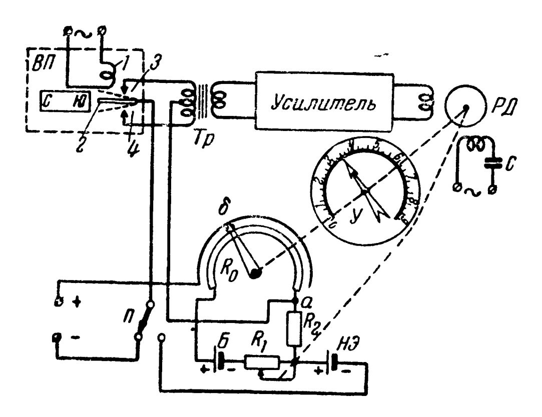
В приведенной схеме измерение и регулирование рабочего тока производятся при помощи так называемого нормального элемента *НЭ*, сопротивлений R_1 и R_2 и гальванометра $Г_2$. Сопротивление R_2 выбирается таким, чтобы номинальный рабочий ток на нем создавал падение напряжения, равное э. д. с. нормального элемента. Эти элементы изготовляются специально для измерительных целей и отличаются высоким постоянством э. д. с. при весьма малых нагрузках.

Проверка и регулировка рабочего тока в приведенной схеме осуществляются следующим образом. При нажатии ключа K э. д. с. нормального элемента сравнивается с падением напряжения на сопротивлении R_2. Если падение напряжения на этом сопротивлении не равно э. д. с. нормального элемента, то в гальванометре $Г_2$ появится ток. Для установки номинального рабочего тока сопротивление R_1 изменяется до тех пор, пока ток в гальванометре $Г_2$ не исчезнет.

В производственных приборах, в которых используются компенсационные измерительные схемы, измерение э. д. с. и установка рабочего тока должны производиться автоматически. Для этой цели в настоящее время чаще всего используются электронные автоматические потенциометры.

Упрощенная схема такого потенциометра приведена на фиг. 18. В нем перемещение движка реохорда R_0 осуществляется следящей системой, имеющей такое же принципиальное устройство, как и в аналогичной системе автоматических уравновешенных мостов. Некоторые ее схемные особенности по сравнению со следящей системой автоматических мостов вызваны необходимостью преобразовать разность сравниваемых постоянных напряжений в переменное напряжение, подаваемое на вход усилителя. Такое преобразование необходимо потому, что непосредственное усиление напряжений постоянного тока связано с большими техническими трудностями.

Преобразование указанной разности напряжений в напряжение переменного тока производится посредством специального вибропреобразователя *ВП*, который работает следующим образом. Переменное магнитное поле, создаваемое током в обмотке возбуждения *1* вибропреобразователя *ВП*, перемагничивает его якорь *2* с частотой электросети. За счет взаимодействия полей постоянного магнита и якоря последний вибрирует с частотой электросети и попеременно замыкает контакты *3* и *4*. В результате этого ток, обусловленный разностью сравниваемых напряжений, про-



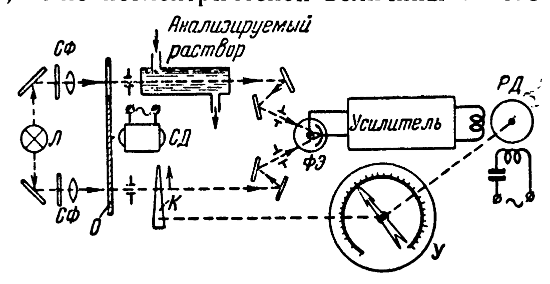
Фиг. 18. Упрощенная схема автоматического потенциометра.

ходит в верхней и нижней половинах первичной обмотки трансформатора *Тр* в разных направлениях, создавая в его сердечнике переменное магнитное поле, а во вторичной его обмотке — напряжение с частотой электросети; фаза этого напряжения зависит от знака разности сравниваемых напряжений, а амплитуда от величины этой разности. Напряжение переменного тока, полученное во вторичной обмотке трансформатора *Тр* после усиления поступает на управляющую обмотку реверсивного двигателя *РД*, в результате чего его ротор начинает вращаться в соответствующем направлении и перемещает движок реохорда до тех пор, пока падение напряжения на участке *аб* реохорда не станет равным измеряемой э. д. с. Величину этой э. д. с. можно отсчитать по указателю *У*, стрелка которого механически связана с движком реохорда.

Для контроля рабочего тока переключатель *П* устанавливается в правое положение, а ротор реверсивного двига-

теля расцепляется с движком реохорда R_0 и сцепляется с движком переменного сопротивления R_1. В результате этого на вход усилителя начинает поступать напряжение, пропорциональное разности падения напряжения на сопротивлении R_2 и э. д. с. нормального элемента *НЭ*. Если эта разность не равна нулю, то ротор реверсивного двигателя начинает вращаться и перемещать движок переменного сопротивления R_1 в сторону, обеспечивающую необходимое изменение рабочего тока. После установления номинального рабочего тока ротор двигателя останавливается.

Используя компенсационную радиоэлектронную измерительную схему, как уже указывалось, можно сравнить две неэлектрические величины, т. е. определить значение какой-либо неэлектрической величины по значению другой, уже известной, тоже неэлектрической величины такого же рода.



Фиг. 19. Упрощенная схема автоматического колориметра.

На фиг. 19 в качестве примера приведена упрощенная схема автоматического колориметра. В приборе применена компенсационная измерительная схема для определения светового потока, зависящего от измеряемой неэлектрической величины — концентрации вещества в растворе, по известному уже значению светового потока.

Принцип действия рассматриваемого колориметра заключается в определении интенсивности окраски раствора, зависящей от концентрации контролируемого вещества. Сущность работы приведенной схемы сводится к следующему.

От источника света *Л* через систему линз и светофильтров *СФ* к фотоэлементу *ФЭ* проходят два пучка света. Один из них пропускается через анализируемый раствор, находящийся в сосуде с прозрачными стенками, а другой через оптический клин *К*, перемещением которого можно регулировать проходящий через него световой поток. Оба пучка

света поочередно прерываются обтюратором *О*, который непрерывно вращается синхронным двигателем *СД*.

При равенстве световых потоков, проходящих через раствор и клин, освещенность фотоэлемента неизменна, и ток его не изменяется во времени. При неравенстве же этих потоков освещенность фотоэлемента непостоянна и содержит переменную составляющую частоты прерывания пучков света. Поэтому ток фотоэлемента также содержит переменную составляющую той же частоты, и на вход усилителя поступает переменное напряжение сигнала. Это напряжение после усиления воздействует на реверсивный двигатель *РД*, ротор которого посредством редуктора начинает перемещать клин до тех пор, пока система не уравновесится. Направление перемещения клина зависит от фазы входного сигнала усилителя, обусловленной знаком разности указанных световых потоков.

Равновесные и неравновесные схемы

В радиоэлектронных приборах для измерений неэлектрических величин используются в основном измерительные схемы двух типов: равновесные и неравновесные.

Примером неравновесной измерительной схемы может служить усилитель, включенный между генераторным датчиком и указателем. Другим примером такой схемы является неуравновешенный мост.

К равновесным измерительным схемам относятся компенсационные и уравновешенные мостовые схемы, в частности схемы автоматических потенциометров и автоматических уравновешенных мостов.

Равновесные и неравновесные измерительные схемы отличаются рядом существенных особенностей, определяющих точность и другие эксплуатационные характеристики приборов, в схему которых они входят.

Важнейшей особенностью неравновесных измерительных схем является зависимость сигнала на их выходе от параметров и напряжения питания отдельных узлов, составляющих эти схемы. Это приводит к тому, что при нестабильности параметров указанных узлов и питающих их напряжений возникают значительные погрешности измерений.

Пусть, например, в качестве измерительной схемы используется неуравновешенный мост, в одно плечо которого включен датчик, а вход усилителя подключен к измерительной диагонали моста. Примем для простоты, что сопротив-

ления плеч моста R равны сопротивлению датчика, когда на него не действует измеряемая величина. Примем далее, что при воздействии измеряемой неэлектрической величины сопротивление датчика изменится на ΔR. В этом случае выходное напряжение усилителя $U_{вых}$, которое подается на указатель, можно подсчитать следующим образом:

$$U_{вых} = U \frac{\Delta R}{4R} K, \tag{8}$$

где U — напряжение питания моста;

K — коэффициент усиления усилителя.

Полученная зависимость показывает, что только при неизменных значениях величин U и K можно получить строгую зависимость между поступающим на указатель напряжением и изменением сопротивления датчика, т. е. осуществить измерение без погрешностей, обусловленных измерительной схемой.

Осуществление усилителей, имеющих неизменный коэффициент усиления, а также изготовление стабильных источников питания весьма затруднительно. Поэтому неравновесные измерительные схемы используются главным образом в производственных приборах, точность которых относительно невысока. В этом случае простота устройства этих приборов и их меньшая стоимость по сравнению с приборами, в которых используются равновесные измерительные схемы, имеют решающее значение.

При необходимости высокой точности измерений в промышленности используются, как правило, приборы с равновесными измерительными схемами. Эти схемы дают возможность осуществить измерения с весьма высокой точностью при значительных изменениях коэффициента усиления усилителя и параметров других узлов, входящих в схему, а также напряжений питания отдельных ее узлов. Рассмотрим эту особенность равновесных схем на примере схемы автоматического уравновешенного моста.

В этой схеме значительные изменения напряжения, питающего мост, практически не сказываются на точности измерений, так как даже в случае, если это напряжение изменится в несколько раз, следящая система установит движок реохорда с достаточной точностью в положение, при котором получается уравновешивание моста. В схеме автоматического моста независимо от величины коэффициента усиления усилителя или параметров других узлов следящей системы движок реохорда будет устанавливаться с ма-

лой погрешностью в указанном положении, если порог чувствительности следящей системы моста невелик.

Под порогом чувствительности измерительных схем со следящими системами обычно понимается то наименьшее значение измеряемой величины, которое обеспечивает нормальную работу реверсивного двигателя системы. В практически выполненных следящих системах производственных радиоэлектронных приборов порог чувствительности их следящих систем составляет 0,1—0,2 от допустимой погрешности прибора.

Высокая точность измерений при использовании равновесных измерительных схем, применяемых для определения параметров датчиков, может быть получена только при применении датчиков, обладающих достаточным постоянством чувствительности.

Когда приходится использовать датчики, которые не имеют достаточно устойчивой чувствительности, в равновесную измерительную схему должен быть включен и датчик. Это удается сделать в тех случаях, когда датчик возможно использовать в качестве нуль-индикатора, т. е. чувствительного элемента, воспринимающего одновременно или поочередно воздействие от двух неэлектрических величин, одно из которых задается, а второе измеряется.

В приведенной ранее схеме автоматического колориметра (фиг. 19) фотоэлемент используется в качестве нуль-индикатора. В связи с этим погрешности измерений этого колориметра практически не зависят как от изменения в широких пределах параметров измерительной схемы, так и от непостоянства чувствительности фотоэлемента.

В рассматриваемой схеме точность измерений зависит только от стабильности оптических свойств клина *К* и идентичности оптических систем, проводящих лучи света от лампы *Л* к фотоэлементу.

Схемы с отрицательной обратной связью

Для стабилизации коэффициента усиления усилителей неравновесных измерительных схем широко используется отрицательная обратная связь.

На фиг. 20 в качестве примера приведена схема усилителя, являющегося узлом измерительной схемы, выход которого соединен с катодом лампы первого каскада цепью обратной связи, обеспечивающей подачу в противофазе на его вход части выходного напряжения усилителя.

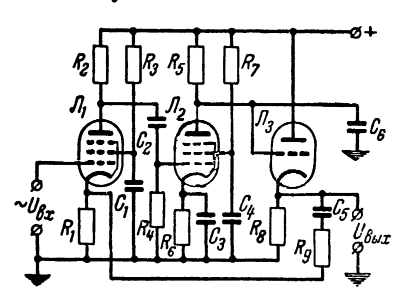
Для этой схемы, как и для любой схемы, охваченной отрицательной обратной связью, можно написать следующую зависимость коэффициента усиления $K_{o.c}$ усилителя с обратной связью от коэффициента усиления K этого усилителя при разомкнутой цепи обратной связи:

$$K_{o.c} = \frac{K}{1+\beta K}, \qquad (9)$$

где β — коэффициент обратной связи, равный отношению напряжения, подаваемого на вход усилителя через цепь обратной связи, к выходному напряжению усилителя.

Как следует из выражения (9), коэффициент усиления усилителя, охваченного отрицательной обратной связью, $K_{o.c}$ всегда меньше коэффициента усиления K того же усилителя, не охваченного этой связью, в $1+\beta K$ раз.

В приведенной схеме коэффициент K определяется произведением коэффициентов усиления каскадов на лампах $Л_1$, $Л_2$ и $Л_3$, а коэффициент обратной связи β отношением $\frac{R_1}{R_1+R_9}$, если $\frac{1}{\omega C_5} \ll R_1+R_9$ для наименьшей усиливаемой частоты.



Фиг. 20. Схема усилителя с отрицательной обратной связью.

Из выражения (9) легко получить зависимость между относительным изменением коэффициентов $K_{o.c}$ и K:

$$\frac{\Delta K_{o.c}}{K_{o.c}} = \frac{1}{1+\beta K}\,\frac{\Delta K}{K}. \qquad (10)$$

Из этой зависимости следует, что относительное изменение коэффициента усилителя с обратной связью в $1+\beta K$ раз меньше, чем относительное изменение коэффициента усиления того же усилителя без обратной связи.

Сравнивая выражения (9) и (10), можно видеть, что при введении отрицательной обратной связи повышение стабильности усилителя сопровождается одновременным уменьшением величины его коэффициента усиления.

Определим для усилителя, схема которого приведена на фиг. 20, уменьшение коэффициента усиления и полу-

чающуюся при этом стабилизацию этого коэффициента в случае введения достаточно глубокой обратной связи, т. е. в случае достаточно большого значения величины $1+\beta K$.

Задаваясь величинами $K=10\,000$; $\beta=0{,}01$ и $\frac{\Delta K}{K}\cdot 100 = 20\%$, получим:

$$K_{o.c}=\frac{10\,000}{1+0{,}01\cdot 10\,000}=99;$$

$$\frac{\Delta K_{o.c}}{K_{o.c}}=\frac{1}{1+0{,}01\cdot 10\,000}\,20=0{,}2\%.$$

Как видно из этого подсчета, при принятом коэффициенте отрицательной обратной связи β и величине коэффициента усиления K достигается высокая степень стабильности усилителя, но одновременно существенно уменьшается коэффициент усиления усилителя.

Степень стабилизации коэффициента усиления усилителя не зависит от причин, вызвавших изменение усиления его отдельных каскадов, а определяется только глубиной отрицательной обратной связи, т. е. величиной $1+\beta K$, и постоянством коэффициента β.

Действительно, из выражения (9) непосредственно следует, что при $\beta K \gg 1$

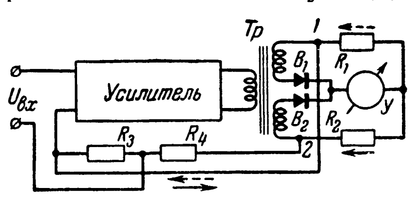
$$K_{o.c}=\frac{1}{\beta}, \qquad (11)$$

т. е. фактический коэффициент усиления усилителя при достаточной глубине отрицательной обратной связи зависит только от коэффициента β. Поэтому при конструировании усилителей неравновесных измерительных схем необходимо стремиться к введению возможно более глубокой отрицательной обратной связи и обеспечению постоянства величины β.

В практически выполняемых конструкциях измерительных усилителей произведение βK, характеризующее глубину обратной связи, выбирается обычно в пределах 20—100, а сопротивления, определяющие величину коэффициента обратной связи β, выполняются из манганина, имеющего, как уже указывалось, малый температурный коэффициент.

Наиболее важным вопросом при конструировании усилителей с обратной связью, особенно многокаскадных, является вопрос их устойчивости. Обеспечение устойчи-

вости усилителя, охваченного обратной связью для широкой полосы частот, представляет собой весьма сложную задачу. Сложность ее вызывается тем обстоятельством, что в широкой полосе частот трудно обеспечить прохождение сигнала через усилитель без существенного сдвига фазы. Сдвиг фазы для сигналов некоторых частот может привести к тому, что на этих частотах напряжение с выхода на вход будет подаваться не в противофазе, а в фазе, т. е. отрицательная обратная связь перейдет в положительную. Для этих частот стабильность усилителя не возрастет, а резко снизится. В ряде случаев при этих условиях возможно возникновение самовозбуждения, причем вероятность самовозбуждения возрастает с ростом числа каскадов усилителя.



Фиг. 21. Измерительная схема с отрицательной обратной связью.

В тех случаях, когда необходимо получить значительный коэффициент усилителя и одновременно ввести глубокую отрицательную обратную связь, неизбежно применение многокаскадных усилителей. Для увеличения устойчивости этих усилителей применяют специальные меры, обеспечивающие резкое падение произведения βK вне полосы усиливаемых частот. В приведенной выше схеме для этой цели используется, например, конденсатор C_6, в более сложных схемах применяются специальные ячейки типа RC.

Отрицательная обратная связь в усилителях измерительных схем используется не только для стабилизации коэффициента их усиления, но и для уменьшения нелинейных, фазовых и частотных искажений усиливаемых сигналов, для уменьшения постоянной времени усилителя, уменьшения влияния нагрузки на выходной сигнал, а также в ряде других случаев.

В измерительных схемах радиоэлектронных приборов отрицательная обратная связь используется также для устранения влияния на работу измерительной схемы нестабильности узлов, включенных до или после усилителей.

На фиг. 21 приведен пример измерительной схемы, отрицательная обратная связь в которой используется не только для стабилизации коэффициента усиления усилителя, но и для исключения влияния на точность измерений нестабильности выпрямителей.

В этой схеме величина переменного напряжения на входе усилителя $U_{вх}$ определяется по отклонению стрелки указателя постоянного тока $У$. Ток в указатель подается от двухполупериодного выпрямителя, собранного на вентилях B_1 и B_2. В каждый полупериод полуволна тока проходит через один из этих вентилей. В результате этого в разные полупериоды ток через указатель проходит в одном направлении, а через сопротивления R_3 и R_4 — в противоположных направлениях. Поэтому напряжение обратной связи, снимаемое с сопротивления R_3, синусоидально, а ток, проходящий через указатель $У$, содержит постоянную составляющую.

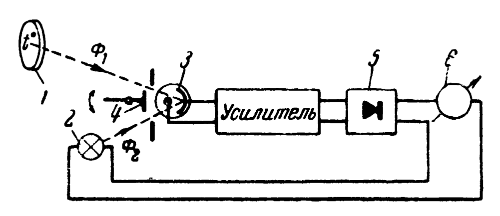
При стабильных сопротивлениях R_1 и R_2 между постоянной составляющей тока указателя и переменным напряжением, снимаемым между точками *1* и *2*, существует строгая зависимость. Эта зависимость дает возможность получить за счет обратной связи стабилизацию коэффициента преобразования сигнала переменного тока на входе усилителя в постоянный ток указателя. Разумеется, что стабильность этого преобразования определяется не только постоянством зависимости амплитуды синусоидального напряжения между точками *1* и *2* и средним током указателя, т. е. неизменностью сопротивлений R_1 и R_2, но и глубиной отрицательной обратной связи, а также постоянством коэффициента этой связи, который определяется сопротивлениями R_3 и R_4.

В ряде случаев отрицательной обратной связью удается охватить не только усилитель и другие узлы измерительной схемы, но также и датчик. В этом случае используется специфический для электрических измерений неэлектрических величин метод введения отрицательной обратной связи по неэлектрической величине. Сущность этого метода заключается в следующем

На выходе измерительной схемы включается специальный преобразователь, который преобразует выходной электрический сигнал измерительной схемы в неэлектрическую величину, однородную с воспринимаемой датчиком. Полученная на выходе указанного преобразователя неэлектрическая величина действует либо одновременно с измеряемой величиной противоположно ей, либо попеременно с измеряемой величиной, обычно в течение равных промежутков времени. В первом случае на датчик воздействует разность неэлектрических величин, а во втором — постоянная составляющая, равная полусумме этих величин, и, кро-

ме того, переменная составляющая, пропорциональная их разности.

Как в первом, так и во втором случаях для индикации равенства действующих на датчик величин на вход измерительной схемы для дальнейшего преобразования подается сигнал датчика, пропорциональный их разности. Этот сигнал после соответствующего усиления и преобразования поступает на вход указанного выше преобразователя и на указатель. Значение измеряемой величины определяется по указателю, у которого, ток или напряжение на входе пропорциональны неэлектрической величине на выходе преобразователя.



Фиг. 22. Измерительная схема с отрицательной обратной связью по измеряемой неэлектрической величине.

В качестве примера схемы прибора, построенного с использованием изложенного метода введения отрицательной обратной связи, рассмотрим схему яркостного фотоэлектрического пирометра (фиг. 22).

Световой поток Φ_1 источника *1*, температура которого должна быть измерена, и поток Φ_2 лампы накаливания *2* направляются на фотоэлемент *3*. Обтюратор *4*, приводимый в колебательное движение специальным устройством, попеременно перекрывает световой поток источника *1* и лампы накаливания *2*. При равенстве потоков Φ_1 и Φ_2 колебания обтюратора не изменят светового потока, действующего на фотоэлемент, и ток фотоэлемента остается постоянным во времени. При неравенстве же этих потоков колебания обтюратора вызовут изменение во времени суммарного потока, засвечивающего фотоэлемент, а следовательно, и тока фотоэлемента. В результате этого на вход усилителя будет поступать переменное напряжение, имеющее частоту колебаний обтюратора.

Это напряжение после усиления выпрямляется устройством *5*. Выпрямленный ток *I* проходит через указатель *6* и лампу накаливания *2*. Очевидно, что равновесие системы

наступит при таком токе лампы накаливания, когда ее световой поток станет весьма близким к световому потоку источника *1*.

При увеличении потока Φ_1 должен измениться и поток Φ_2, а следовательно, автоматически изменится и ток в лампе *2*. При уменьшении же потока Φ_1 должен также уменьшиться поток Φ_2, поэтому ток лампы также уменьшится. Таким образом по току лампы накаливания можно определить значение светового потока Φ_1, а следовательно, и температуру источника *1*, создающего этот поток.

В рассмотренной схеме при достаточно большом коэффициенте усиления усилителя точность измерений не зависит от его коэффициента усиления, коэффициента преобразования выпрямителя и чувствительности фотоэлемента. Точность измерений этой схемы определяется только стабильностью преобразования тока в световой поток лампой накаливания и погрешностями указателя.

К этому выводу легко прийти, если рассмотреть условие равновесия схемы:

$$(\Phi_1 - \Phi_2) K_\partial K_y K_в = I, \qquad (12)$$

где I — ток в лампе накаливания;

K_∂ — чувствительность фотоэлемента;

K_y — коэффициент усиления усилителя;

$K_в$ — коэффициент преобразования выходного напряжения усилителя в ток I.

Примем для простоты, что $\Phi_2 = K_n I$, где K_n — коэффициент преобразования тока лампы накаливания в световой поток.

В этом случае

$$I = \frac{\Phi_1}{\frac{1}{K_\partial K_y K_в} + K_n}. \qquad (13)$$

При достаточно большом коэффициенте усиления усилителя первый член знаменателя в выражении (13) близок к нулю, а следовательно,

$$I = \frac{\Phi_1}{K_n}. \qquad (14)$$

Таким образом, в рассматриваемой схеме фотоэлектрического пирометра точность измерений определяется только стабильностью лампы накаливания и погрешностями указа-

теля, если коэффициент усиления усилителя достаточно высокий.

Лампы накаливания с вольфрамовой нитью отличаются высокой стабильностью. Поэтому, используя в рассмотренной выше схеме такую лампу в качестве преобразователя, удалось создать промышленный прибор, дающий высокую точность измерений. Этот прибор описан в гл. 3.

В некоторых случаях удается использовать и другие стабильные преобразователи электрических величин в неэлектрические для создания приборов с отрицательной обратной связью по воспринимаемой датчиком величине.

Влияние помех на погрешности измерительных схем

Использование рассмотренных выше равновесных измерительных схем или схем, охваченных глубокой отрицательной обратной связью, дает возможность, как уже указывалось, свести к незначительной величине погрешности от изменения параметров электронных ламп или иных элементов этих схем.

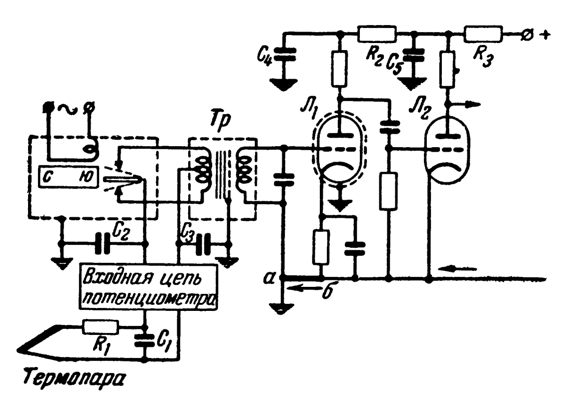
Однако даже при применении равновесных измерительных схем или глубокой отрицательной обратной связи в неравновесных измерительных схемах принципиально не удается исключить погрешности, вызванные электрическими помехами, воздействующими на цепи рассматриваемых схем.

Пусть, например, во входной цепи автоматического потенциометра (фиг. 18) за счет переменного магнитного поля наводится э. д. с. помехи. Эта э. д. с. после усиления заставит вращаться ротор реверсивного двигателя, и движок реохорда будет перемещаться до тех пор, пока сигнал на входе усилителя потенциометра не уменьшится до нуля. В рассматриваемом случае это может иметь место, если э. д. с. помехи будет скомпенсирована напряжением, возникающим за счет некоторого смещения движка реохорда, т. е. за счет возникновения погрешности в измерениях.

Помехи, действующие в различных точках измерительной схемы, вызывают, разумеется, неодинаковые по величине погрешности измерений. Так, например, помехи, действующие на входе усилителя, вызывают погрешности бóльшие, чем те же помехи в анодной цепи лампы первого каскада, причем в число раз, соответствующее коэффициенту усиления этого каскада, а по сравнению с помехами на аноде лампы второго каскада — в число раз, равное коэффициенту усиления двух каскадов, и т. д.

Из сказанного вытекает, что при конструировании измерительных схем радиоэлектронных приборов основное внимание должно быть уделено максимальному снижению электрических помех, действующих на входные цепи указанных схем.

К основным мероприятиям по борьбе с помехами, наводимыми во входных цепях, следует отнести тщательное экранирование входных трансформаторов, ламп, вибропреобразователей и других конструктивных элементов этих цепей, а также проводов, соединяющих датчики с входом



Фиг. 23. Включение в измерительную схему с термопарой фильтра для подавления помех.

измерительных схем. К этим мероприятиям, кроме того, относятся специальный монтаж входных каскадов, использование фильтров и др.

В качестве примера измерительной схемы, в которой приняты указанные выше меры, можно указать схему современных электронных автоматических потенциометров.

В зависимости от условий эксплуатации потенциометры устанавливаются на некотором расстоянии от контролируемого объекта. В связи с этим линия, соединяющая датчик (например, термопару) с входом измерительной схемы, может иметь большую длину. Это создает благоприятные условия для наведения в линии заметной э. д. с. помехи переменным магнитным полем силовых установок. Для подавления последней в рассматриваемую линию включается фильтр R_1C_1 (фиг. 23).

Значительную э. д. с. помехи вызывают магнитные поля во вторичной обмотке входного трансформатора *Тр*, имею-

щей большое число витков. Для уменьшения этой э. д. с., как правило, используются входные трансформаторы с пермаллоевыми сердечниками стержневого типа, на которых симметрично располагаются одинаковые секции первичной и вторичной обмоток. Эти секции соединяются так, чтобы э. д. с., наводимые в них внешним мешающим магнитным потоком, вычитались, а создаваемые рабочим потоком — складывались. Такое соединение обмоток дает существенное уменьшение величины э. д. с., наводимой помехами. Однако полностью исключить последнюю указанным способом не удается, так как невозможно создать точную симметрию обмоток и стержней магнитопровода. Дальнейшее уменьшение э. д. с., наводимой мешающими магнитными полями, осуществляется применением экрана из пермаллоя, в который помещается входной трансформатор потенциометра. Следует отметить, что для защиты от переменных электрических помех во входном трансформаторе используется, кроме того, электростатический экран, выполненный из алюминиевой фольги и располагаемый между первичной и вторичной обмотками трансформатора. Пермаллоевый и алюминиевый экраны тщательно заземляются.

Переменные магнитные и электрические поля создают помехи также и на электродах входной лампы усилителя потенциометра. Для их исключения эта лампа экранируется стаканом из мягкой стали. Источником помех может также служить анодная цепь лампы первого каскада усилителя потенциометра. Напряжение переменного тока, возникающее в этой цепи за счет различных связей ее с электросетью, проходит на сетку лампы второго каскада и создает дополнительные погрешности измерений. Для уменьшения переменных напряжений в анодных цепях ламп усилителя применяются специальные фильтры. В схеме, приведенной на фиг. 23, эти фильтры собраны из сопротивлений и конденсаторов (R_2C_4 и R_3C_5).

Монтаж входных цепей потенциометров проводится с таким расчетом, чтобы исключить наводки на них со стороны выходных каскадов, обмоток реверсивного двигателя и силового трансформатора. С этой целью входные цепи относятся на возможно бо́льшие расстояния от указанных узлов. Кроме того, электрические соединения между этими узлами осуществляются проводниками, которые не используются во входных цепях.

Возможность возникновения помех при одновременном использовании проводников в указанных цепях станет

ясной, если предположить, что участок схемы *аб*, приведенный на фиг. 23, является проводящим для токов выходных каскадов. Очевидно, что падение напряжения, получающееся на этом участке, будет подано на сетку первого каскада, что может вызвать не только большие помехи, но и приведет к возникновению паразитной обратной связи, которая нарушит нормальную работу потенциометра. В связи с этим все детали схемы, относящиеся к одному каскаду, как правило, присоединяются к общей шине в одной точке.

Отмеченные выше мероприятия по борьбе с помехами относятся, разумеется, ко всем радиоэлектронным приборам. Этими мерами, конечно, не исчерпываются все способы устранения помех. В каждом конкретном приборе эти мероприятия приобретают особые формы. Найти наиболее рациональные из них — важнейшая задача конструктора радиоэлектронных приборов для измерений неэлектрических величин.

Само собой разумеется, что для достижения высокой точности измерений необходимо обеспечить не только отсутствие помех, действующих на элементы измерительной схемы, но также помех, действующих на датчик и указатель.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

НЕКОТОРЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Электронный влагомер

Для определения влажности сыпучих и твердых тел в промышленности используются различные радиоэлектронные приборы, основанные на зависимости между электропроводностью, диэлектрической проницаемостью, а также другими электрическими свойствами и влажностью этих тел.

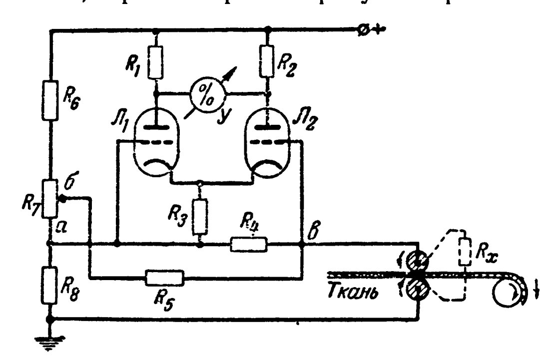
На фиг. 24 приведена упрощенная схема электронного влагомера, построенного на принципе электропроводности и предназначенного для измерения влажности ткани.

Контролируемая ткань пропускается между двумя металлическими роликами, электрически связанными со схемой прибора. При изменении влажности ткани весьма резко изменяется ее электрическое сопротивление R_x. В результате этого изменяется падение напряжения на сопротивлении R_4, а следовательно, и напряжение на сетке лампы $Л_2$. Это приводит к тому, что статическое сопротивление этой лампы изменяется в зависимости от сопротивления R_x,

и стрелка указателя $У$, включенного в диагональ лампового моста, отклоняется на угол, пропорциональный отклонению влажности ткани от заданной.

Для уравновешивания лампового моста при определенной влажности ткани служит переменное сопротивление R_7. От движка *б* этого сопротивления напряжение через сопротивление R_5 подается в точку *в* схемы.

При перемещении движка *б* всегда можно найти такое его положение, при котором образуется равенство напря-



Фиг. 24. Схема электронного влагомера.

жения между точками *а* и *б* и падением напряжения на сопротивлении R_4. В результате разность потенциалов между точками *а* и *в* сводится к нулю, и ламповый мост уравновешивается.

Первоначальная настройка прибора производится подбором сопротивлений делителя R_6, R_7 и R_8, а также сопротивлений лампового моста R_1, R_2 и R_3.

Приведенная схема пригодна также для измерений других неэлектрических величин, которые могут быть преобразованы в достаточное по величине электрическое сопротивление.

Емкостный толщиномер

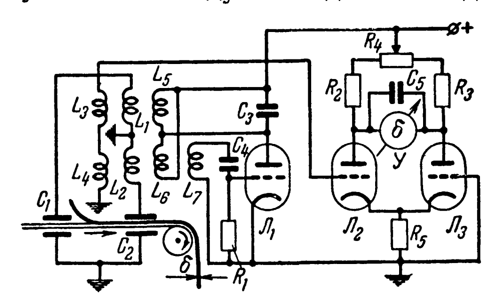
На фиг. 25 приведена схема толщиномера, предназначенного для непрерывного контроля толщины светочувствительной эмульсии в процессе производства кинопленки.

В приборе в качестве датчика использован конденсатор C_2, диэлектриками которого являются воздушный промежуток, пленка и слой эмульсии. Для исключения влияния колебаний толщины пленки на результат измерений

используется второй датчик — конденсатор C_1, между обкладками которого проходит пленка без слоя эмульсии.

Конденсаторы C_1 и C_2 и индуктивности L_1 и L_2 составляют соответственно два колебательных контура, которые питаются от обмоток L_5 и L_6 генератора, собранного на лампе $Л_1$. Обмотки L_1 и L_3, а также L_2 и L_4 индуктивно связаны между собой.

При отсутствии эмульсии на участках пленки, проходящих одновременно между обкладками конденсаторов C_1 и C_2, разность э. д. с. обмоток L_3 и L_4 равна нулю. Если на пленке, пропускаемой между обкладками конденсатора C_2,



Фиг. 25. Схема емкостного толщиномера.

имеется слой эмульсии, емкость его увеличивается, и контур L_2C_2 расстраивается. В результате этого на сетке лампы $Л_2$ появляется разность э. д. с., пропорциональная толщине слоя эмульсии.

Лампа $Л_2$ совместно с лампой $Л_3$ и сопротивления R_2, R_3 и R_4 составляют описанный ранее ламповый мост. В диагональ этого моста включен миллиамперметр постоянного тока (указатель $У$), градуированный в единицах толщины эмульсии δ.

В схеме толщиномера используется простейший генератор, работающий на лампе $Л_1$ и имеющий частоту около 3 *Мгц*.

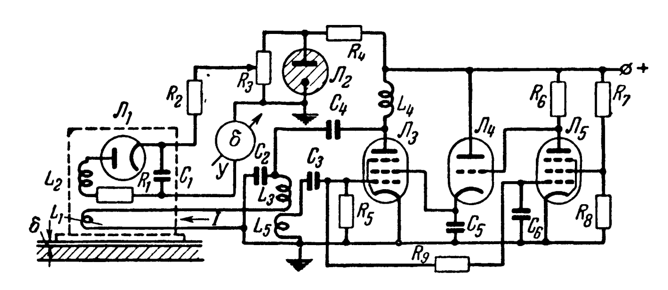
Конденсаторный толщиномер может быть использован также для измерений толщины бумаги, нитропленки и других диэлектриков.

Двухобмоточный микрометр

При помощи экранных датчиков можно осуществить большое число приборов для измерений неэлектрических величин, в частности так называемый двухобмоточный ми-

крометр для измерения перемещений. Принципиальная схема такого микрометра приведена на фиг. 26.

Этот микрометр используется для определения перемещений относительно какого-либо металлического экрана. Датчик прибора состоит из двух обмоток L_1 и L_2, жестко укрепленных в держателе. К возбуждающей обмотке L_1 подводится напряжение высокой частоты от генератора, работающего на лампе $Л_3$. При приближении держателя к поверхности экрана переменное магнитное поле обмотки L_1, имеющее частоту в несколько мегагерц, возбуждает в поверхностном слое экрана вихревые токи, которые ослабляют



Фиг. 26. Схема двухобмоточного микрометра с экранным датчиком.

поле этой обмотки. Чем ближе возбуждающая обмотка к поверхности экрана, тем больше ее поле ослабляется вихревыми токами. В связи с этим э. д. с., наводимая в воспринимающей обмотке L_2, уменьшается по мере приближения держателя к указанной поверхности.

Изменение э. д. с. обмотки L_2 при перемещении держателя относительно экрана незначительно по сравнению с э. д. с., наводимой в указанной обмотке при отсутствии экрана. Поэтому на указатель $У$ подается не все выпрямленное напряжение воспринимающей обмотки L_2, а лишь разность между выпрямленным напряжением и частью постоянного стабилизированного при помощи лампы $Л_2$ напряжения, снимаемого с переменного сопротивления R_3. Эта разность напряжений перед измерениями доводится до нуля при установке датчика на поверхности экрана.

Величина э. д. с., наводимая в воспринимающей обмотке, зависит как от измеряемого расстояния, так и от тока в возбуждающей обмотке L_1. Поэтому изменение последнего неизбежно вызовет погрешность измерений. Для исключения этой погрешности в схеме рассматриваемого

прибора предусмотрено автоматическое регулирование амплитуды тока I, которое осуществляется изменением выходного напряжения генератора, собранного на лампе $Л_3$.

При изменении по какой-либо причине амплитуды тока I изменяется напряжение на обмотке L_5, подаваемое на сетку лампы $Л_3$. Это напряжение после выпрямления и усиления каскадом на лампе $Л_5$ воздействует на сетку лампы $Л_4$ (катодного повторителя). Выходной сигнал с лампы $Л_4$ изменяет потенциал экранной сетки лампы $Л_3$, что влечет за собой такое изменение напряжения генератора, которое обеспечивает восстановление амплитуды тока I с малым отклонением от первоначальной величины.

Двухобмоточный микрометр отличается большой чувствительностью, позволяющей определять перемещения относительно металлических поверхностей в несколько микрон. Очевидно, что рассматриваемый микрометр может быть использован также для измерения толщины листов из диэлектрика.

Экранный толщиномер

Экранные датчики могут быть использованы также для измерения толщины металлических лент в процессе их проката.

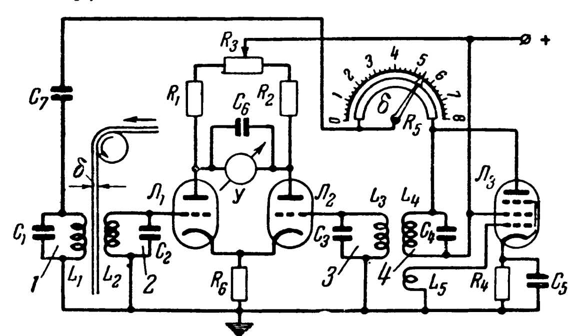
На фиг. 27 изображена схема толщиномера для измерения толщины прокатываемых лент цветных металлов. Воспринимающим элементом здесь является экранный датчик.

Как уже указывалось ранее, э. д. с., наводимая во вторичной обмотке экранного датчика, зависит от толщины металлического экрана, находящегося между обмотками этого датчика. В соответствии с этим э. д. с., наводимая в обмотке L_2, зависит от толщины контролируемой ленты. Напряжение, пропорциональное этой э. д. с., подается на сетку лампы $Л_1$, а напряжение, пропорциональное э. д. с., наводимой в обмотке L_3, — на сетку лампы $Л_2$.

При некоторой толщине ленты амплитуды напряжений, подаваемых на сетки ламп $Л_1$ и $Л_2$, равны между собой. В данном случае при идентичности этих ламп мост, в плечи которого они входят, уравновешен. При изменении толщины ленты напряжение на сетке лампы $Л_1$ изменяется, равновесие моста нарушается, и стрелка указателя $У$ отклонится на число делений, соответствующее изменению толщины ленты.

В ряде случаев, однако, необходимо измерять не только отклонение толщины ленты от некоторого значения, но также и толщину ленты. В рассматриваемой схеме толщина

ленты определяется по величине сопротивления R_5, которое необходимо ввести последовательно с контуром *1*, чтобы уравновесить ламповый мост. При введении сопротивления последовательно с контуром ток в обмотке L_1 падает. Поэтому напряжение на контуре *2* также падает. Так как ламповый мост уравновешивается только при определенном



Фиг. 27. Схема экранного толщиномера.

напряжении на сетке лампы $Л_1$, угол поворота движка сопротивления R_5 может служить мерой толщины ленты.

Для увеличения чувствительности схемы контуры *2* и *3* настраиваются в резонанс с частотой генератора, собранного на лампе $Л_3$.

Рабочая частота схемы зависит в основном от толщины контролируемой ленты и лежит для толщин 0,01—0,10 *мм* в пределах 5—20 *кгц*.

Термоэлектрический пирометр с потенциометром ЭПП-09

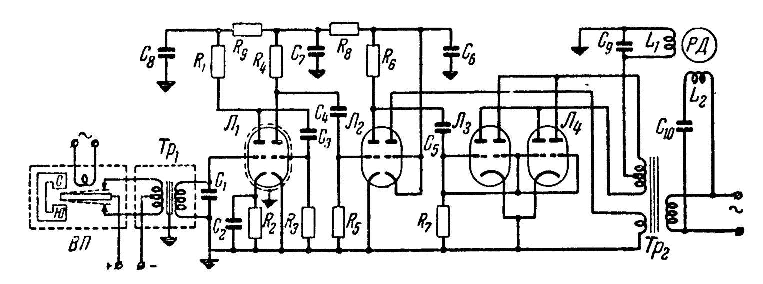
В гл. 2 была рассмотрена принципиальная схема самоуравновешивающегося компенсатора, измеряющего э. д. с. постоянного тока. По такой схеме построено большинство современных термоэлектрических пирометров, измеряющих э. д. с. термопар компенсационным методом, в частности термоэлектрические пирометры с потенциометром типа ЭПП-09.

Этот потенциометр предназначен главным образом для измерения температуры при помощи термопар, имеющих относительно невысокую чувствительность. В связи с этим э. д. с., которая должна четко регистрироваться потенциометрами, весьма невелика (часто менее 10 *мкв*). Такой сигнал необходимо усилить более чем в миллион раз, чтобы

получить напряжение, обеспечивающее надежное управление реверсивным двигателем, при помощи которого производится перемещение механических узлов для отсчета и записи потенциометром контролируемой температуры.

Принципиальная схема усилителя потенциометра ЭПП-09 приведена на фиг. 28.

Как уже упоминалось ранее, в результате прерывания вибропреобразователем *ВП* тока, создаваемого разностью измеряемой э. д. с. и уровновешивающего напряжения, на вторичной обмотке трансформатора $Тр_1$ возникает переменное напряжение. Амплитуда этого напряжения пропорциональна величине указанной разности, а фаза зависит от ее знака.



Фиг. 28. Принципиальная схема усилителя потенциометра ЭПП-09.

В схеме усилителя рассматриваемого потенциометра напряжение вторичной обмотки трансформатора $Тр_1$, увеличенное за счет трансформации приблизительно в 10 раз, подается на вход трехкаскадного реостатного усилителя, собранного на двух триодах лампы $Л_1$ и левом триоде лампы $Л_2$. Сигнал, снимаемый с нагрузки последнего триода, подается одновременно на сетки ламп $Л_3$ и $Л_4$, которые входят в усилитель мощности, собранный по фазочувствительной схеме.

К левым анодам ламп $Л_3$ и $Л_4$ подводится напряжение от одного конца повышающей обмотки силового трансформатора $Тр_2$, а к правым — от другого. Так как средняя точка повышающей обмотки этого трансформатора заземлена, то напряжение на левых и правых триодах сдвинуто по фазе на 180°. В связи с этим при отсутствии сигнала на сетках ламп $Л_3$ и $Л_4$ ток в них проходит в один полупериод через левые триоды, а в другой полупериод через правые. В результате в управляющей обмотке реверсивного двигателя *РД* возникает пульсирующий ток, по форме подобный

току в двухполупериодном выпрямителе, работающем без фильтра.

Этот пульсирующий ток не содержит составляющих частоты сети, поэтому на роторе реверсивного двигателя не создается вращающего момента. При подаче на сетки ламп $Л_3$ и $Л_4$ напряжения сигнала амплитуда пульсирующего тока в левых и правых триодах изменяется. В зависимости от фазы сигнала в одной паре триодов ток увеличивается, а в другой — падает. В соответствии с этим в обмотке L_4 появляется ток частоты сети, благодаря которому на валу реверсивного двигателя возникает момент, перемещающий движок реохорда R_0 (фиг. 18) до тех пор, пока сигнал на входе усилителя не будет равен нулю.

Питание анодных цепей усилителя осуществляется от однополупериодного выпрямителя, собранного на правом триоде лампы $Л_2$. Для фильтрации выпрямленного напряжения в схеме используются фильтры из сопротивлений R_8 и R_9 и конденсаторов C_6, C_7 и C_8. Эти фильтры служат также для уменьшения паразитных связей между каскадами через общий источник питания. В рассматриваемом случае эта мера особенно необходима, так как суммарный коэффициент усиления трех каскадов усилителя составляет более 100 000.

Потенциометр типа ЭПП-09 осуществляет запись измеряемой температуры на ленту и относится к так называемым многозаписным приборам, позволяющим осуществить запись э. д. с. нескольких термопар. В некоторых модификациях приборов типа ЭПП-09 может быть записана температура, измеряемая в 24 точках.

В результате записи измерений температур несколькими термопарами на ленте появляется соответствующее количество кривых, образованных цветными отметками.

Потенциометры типа ЭПП-09, как и других типов, используются не только в термоэлектрических пирометрах, но и в приборах для измерения других неэлектрических величин.

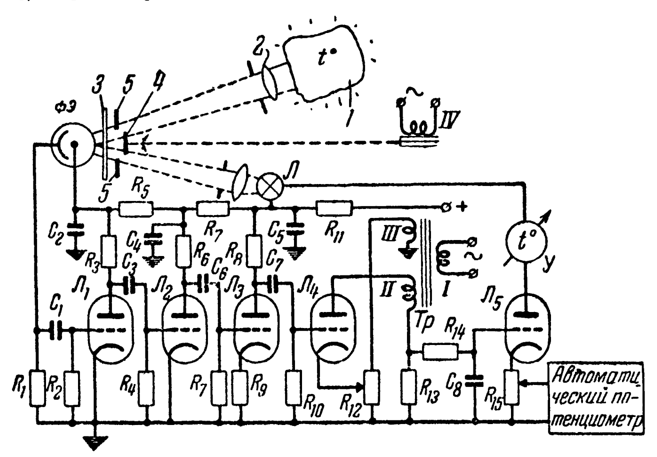
Фотоэлектрический пирометр ФЭП-3

Фотоэлектрический пирометр ФЭП-3 построен по скелетной схеме, приведенной на фиг. 22. На фиг. 29 изображена принципиальная схема этого пирометра.

Излучающее тело *1*, температуру которого необходимо измерить, проектируется объективом *2* на светофильтр *3*, установленный перед фотоэлементом *ФЭ*. В этой же плоскости фокусируется излучение лампы накаливания *Л*. За-

слонка 4, установленная перед диафрагмой 5, совершает колебания вдоль последней и обеспечивает попеременное засвечивание фотоэлемента световыми потоками, излучаемыми телом 1 и лампой накаливания *Л*.

Как уже говорилось ранее, при неравенстве световых потоков тела и лампы накаливания ток фотоэлемента содержит переменную составляющую, в связи с чем на сопротивлении R_1, включенном последовательно с фотоэлементом, появится переменное напряжение. Это напряжение подается на трехкаскадный усилитель, собранный на лампах $Л_1$, $Л_2$ и $Л_3$.



Фиг. 29. Принципиальная схема фотоэлектрического пирометра ФЭП-3.

Снимаемый с нагрузки лампы $Л_3$ сигнал поступает на фазочувствительный выпрямитель, собранный на лампе $Л_4$. На анод этой лампы подается напряжение от обмотки *II* трансформатора *Тр*. С обмотки *III* этого трансформатора подается напряжение смещения. Постоянная составляющая напряжения на сопротивлении R_{13} зависит от величины и фазы напряжения, поступающего на сетку лампы $Л_4$. В связи с этим ток лампы $Л_5$ также зависит от величины и фазы этого напряжения, а следовательно, от величины и фазы разности излучения накаленного тела и нити лампы накаливания.

По току лампы накаливания, определяемому указателем *У*, включенному последовательно с лампой $Л_5$, можно судить о температуре тела 1. В приборе ФЭП-3 измеряемая

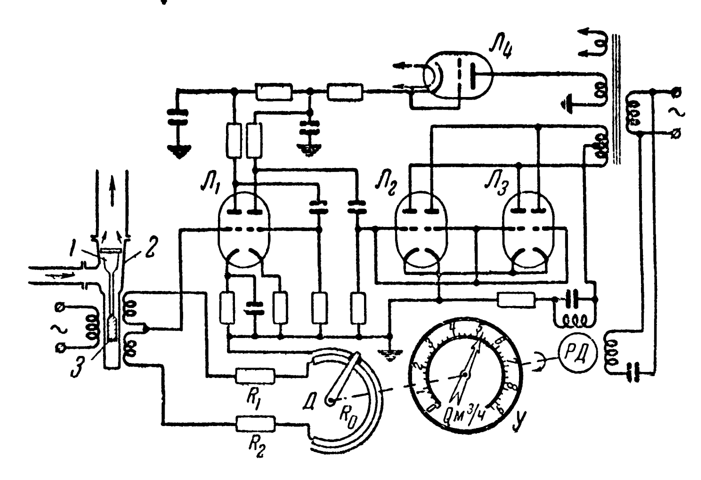
температура определяется и записывается автоматическим потенциометром по величине входного напряжения, которое снимается с части сопротивления R_{15}.

В приведенной выше схеме пирометра используется отрицательная обратная связь по световому потоку. В соответствии с разобранными в гл. 2 особенностями схем с отрицательной обратной связью по воспринимаемому датчиком параметру точность измерений этим пирометром не зависит от изменений чувствительности фотоэлемента и коэффициента усиления измерительной схемы, а определяется только стабильностью преобразования величины тока лампы накаливания в интенсивность ее излучений.

Прибором ФЭП-3 удается измерить температуру накаленных тел в пределах от 800 до 1 700° С.

Индуктивный расходомер

Для измерения расхода жидкостей и газов в последнее время широкое распространение получили расходомеры с дистанционным отсчетом показаний. Схема одного из таких расходомеров — ротаметра с индуктивным датчиком — приведена на фиг. 30.



Фиг. 30. Принципиальная схема расходомера с индуктивным датчиком.

Расход этим ротаметром определяется по положению поплавка *1* в конической трубке *2*, через которую протекают жидкость или газ. Для определения положения поплавка

в трубке используется индукционный датчик, преобразующий перемещение стального сердечника *3*, связанного с поплавком, в изменение индуктивности.

Индуктивный датчик состоит из первичной обмотки и двух одинаковых секций вторичной обмотки. Витки вторичной обмотки вместе с сопротивлениями R_1 и R_2 и реохордом R_0 составляют мост, измерительная диагональ которого включена на вход усилителя. Мост уравновешивается перемещением движка реохорда R_0.

При перемещении поплавка ротаметра индуктивность одной секции вторичной обмотки уменьшается, а другой — увеличивается. В результате этого нарушается равновесие моста, и на усилителе появляется напряжение, фаза которого зависит от направления перемещения поплавка.

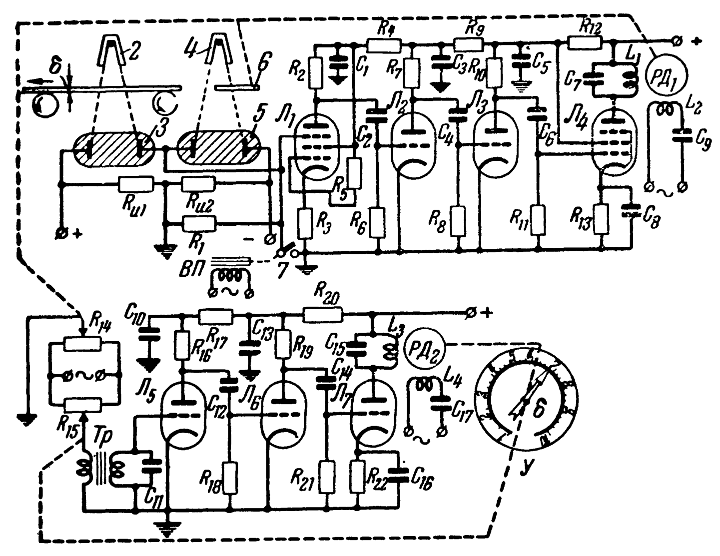
Выходное напряжение моста усиливается двухкаскадным усилителем напряжения на двойном триоде $Л_1$ и фазочувствительным усилителем мощности на лампах $Л_2$ и $Л_3$, работающим так же, как и усилитель мощности в схеме фиг. 28. Этот усилитель управляет реверсивным двигателем *РД*, ротор которого связан с движком реохорда. При появлении напряжения на входе усилителя ротор двигателя начинает вращаться и перемещать движок реохорда до уравновешивания моста. При этом каждому положению поплавка *1* соответствует вполне определенное положение движка *Д* и стрелки указателя *У*, жестко связанной с этим движком. Таким образом, по стрелке указателя *У* можно определить расход жидкости или газа.

Ионизационный толщиномер

Для измерения толщины холодного и горячего проката в процессе его производства в настоящее время успешно используются радиоэлектронные приборы с ионизационными датчиками. Принципиальная схема одного из таких приборов показана на фиг. 31.

Контролируемый прокат *1* пропускается между источником радиоактивного излучения *2*, представляющего собой ампулу с радиоактивным веществом, и ионизационной камерой *3*. Между другим источником радиоактивного излучения *4* и второй ионизационной камерой *5* помещается заслонка *6*. Величина излучения, прошедшего сквозь материал проката, зависит от толщины последнего, а излучения, прошедшего мимо заслонки, от ее положения относительно камеры *5*. При измерениях заслонка автоматически перемещается до тех пор, пока излучение, действующее на ка-

меру *5*, не станет равным излучению, действующему на камеру *3*. Так как излучение, падающее на камеру *3*, зависит от толщины проката, то положение заслонки также зависит от этой толщины. Таким образом, положение заслонки является мерой контролируемой толщины. Одновременно с перемещением заслонки *6* поворачивается стрелка указателя *У*, расположенного на значительном расстоянии от камер.



Фиг. 31. Принципиальная схема толщиномера с ионизационным датчиком.

Для обеспечения автоматического перемещения заслонки *6* и поворота стрелки указателя используются две следящие системы. Первая система состоит из усилителя со специальным электрометрическим входным каскадом и реверсивного двигателя $РД_1$, а вторая — из усилителя с трансформаторным входом и реверсивного двигателя $РД_2$. Рассмотрим работу этих следящих систем.

Вход усилителя первой следящей системы включен в диагональ моста, составленного из сопротивлений камер и сопротивлений R_{u1} и R_{u2}. Напряжение постоянного тока, снимаемое с диагонали этого моста, посредством вибропреобразователя *ВП*, замыкающего с частотой сети контакт *7*, преобразуется в напряжение переменного тока, которое усиливается электрометрическим каскадом на лампе $Л_1$, а так-

же усилителем напряжения на лампах $Л_2$ и $Л_3$ и усилителем мощности на лампе $Л_4$. В аноде последней лампы включена управляющая обмотка L_1 реверсивного двигателя $РД_1$.

При неравенстве облучений камер на выходе моста появляется сигнал, вызывающий подачу напряжения на управляющую обмотку реверсивного двигателя $РД_1$, ротор которого начинает вращаться и перемещает заслонку до тех пор, пока мост не уравновесится, т. е. пока статическое сопротивление камеры *5* не станет равно статическому сопротивлению камеры *3*. При перемещении заслонки одновременно смещается движок переменного сопротивления R_{14} дистанционной передачи.

Вход усилителя второй следящей системы включен в диагональ моста, составленного из участков сопротивлений R_{14} и R_{15}. Мост уравновешен, если движки переменных сопротивлений R_{14} и R_{15} находятся в одинаковом положении. Если положение этих движков неодинаково, на выходе моста и на трансформаторе *Тр* появится напряжение. После усиления по напряжению каскадами на лампах $Л_5$ и $Л_6$ и по мощности каскадом на лампе $Л_7$, оно управляет реверсивным двигателем $РД_2$, ротор которого механически связан с движком сопротивления R_{15} и стрелкой указателя *У*.

Ротор двигателя вращается до тех пор, пока движок сопротивления R_{15} не займет такое же положение, как и движок сопротивления R_{14}. Теперь по положению стрелки указателя можно определить положение заслонки *6*, а следовательно, и толщину прокатываемого металла.

Вторая следящая система здесь необходима потому, что ионизационные датчики имеют, как указывалось в гл. 1, высокое сопротивление, достигающее 10^8—10^{10} *ом*. Для получения приемлемой точности измерений при использовании датчиков с высоким сопротивлением должна быть обеспечена исключительно высокая изоляция проводов, а также мест креплений электродов этих датчиков, которые соединены со входом усилителя.

В схеме рассматриваемого толщиномера только при расположении камер на незначительном расстоянии друг от друга можно обеспечить малую утечку между точкой присоединения провода, связанного с сигнальной сеткой электрометрического каскада, и электродами камер. Расположение ионизационных камер непосредственно в месте измерений требует дистанционной передачи положения заслон-

ки. Эта передача осуществляется следящей системой, описанной выше.

Входным каскадом первой следящей системы является электрометрический усилитель. Такие усилители собираются либо на специальных электрометрических лампах, имеющих весьма высокое входное сопротивление, либо на обычных электронных лампах, используемых в электрометрическом режиме, при котором ток в цепи их сигнальной сетки должен быть весьма мал. Для перевода лампы в электрометрический режим к ближайшей к катоду сетке прикладывается положительный потенциал. Это дает возможность заставить работать лампу при низком анодном напряжении, что существенно уменьшает ток сигнальной сетки. В качестве сигнальной сетки этих ламп используется обычно защитная сетка, которой придают отрицательный потенциал. Ток накала ламп в рассматриваемом режиме значительно снижен. В электрометрических каскадах сопротивление между сигнальной сеткой и другими электродами лампы должно быть весьма высоким. Только при этом условии удается измерить малые токи, создаваемые высокоомными источниками.

В приведенной схеме во входном каскаде используется пентод 6Ж1Ж, работающий в электрометрическом режиме. Сопротивление R_1 в цепи сигнальной сетки этой лампы имеет величину 10^9 *ом*. В отличие от сопротивлений утечки между электродами камер изменение величины этого сопротивления не скажется на точности измерений, так как оно включено в диагональ моста, автоматически уравновешиваемого в процессе измерений.

Ионизационные толщиномеры позволяют измерять толщину как металлических, так и неметаллических материалов.

Оптико-акустический газоанализатор

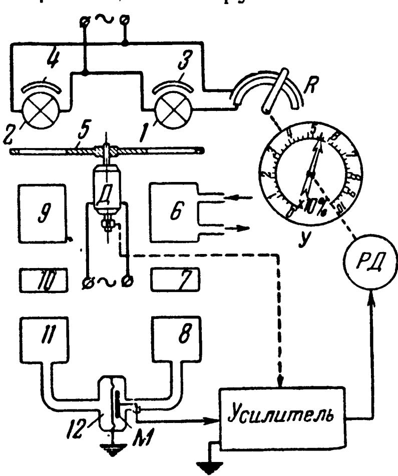
Все химические соединения в газообразном состоянии поглощают инфракрасные лучи. При этом степень поглощения лучей разной длины волны различна для подавляющего большинства газообразных химических соединений. Этот эффект используется для анализа смесей сложных газов оптико-акустическим методом.

На фиг. 32 показана скелетная схема дифференциального оптико-акустического газоанализатора.

В приборе используются два одинаковых источника инфракрасных лучей *1* и *2* и две системы камер, прозрач-

ных для этих лучей. Источниками инфракрасных лучей являются нихромовые спирали, нагреваемые током.

За спиралями располагаются металлические зеркала *3* и *4*, отражающие потоки инфракрасных лучей к камерам, а перед ними — обтюратор *5*, периодически перекрывающий эти потоки. Поток правого источника *1* проходит через рабочую камеру *6* и фильтровую камеру *7*, а затем попадает в приемную камеру *8*. Поток левого источника *2* проходит через сравнительную камеру *9*, фильтровую камеру *10* и попадает в приемную камеру *11*. Через рабочую камеру *6* непрерывно протекает анализируемая смесь газов. Сравнительная герметичная камера *9* заполняется смесью газов, в котором контролируемый газ имеет нормальную для данного технологического процесса концетрацию. Фильтровые камеры *7* и *10* заполняются анализируемой смесью, из которой исключен контролируемый газ, а приемные камеры *8* и *11* заполняются только контролируемым газом.



Фиг. 32. Скелетная схема дифференциального оптико-акустического газоанализатора.

Благодаря такому способу заполнения камер в потоках инфракрасных лучей, достигающих приемных камер, отсутствуют лучи, лежащие вне спектра поглощения контролируемого газа, так как эти лучи поглощаются смесью газов в фильтровых камерах. Потоки радиации, лежащие внутри спектра поглощения контролируемого газа, попадут в приемные камеры и поглотятся в них. Поглощение инфракрасных лучей газом приводит к его нагреву.

При различной концентрации контролируемого газа в рабочей и сравнительной камерах поглощение инфракрасных лучей в приемных камерах будет также различно. Следствием этого явится неодинаковый нагрев газа в приемных камерах и возникновение разности давлений между ними. Если потоки лучей источников *1* и *2* одновременно периодически прерывать вращающимся обтюратором *5*, то

эта разность давлений будет также периодически изменяться, и мембрана *12*, разделяющая приемные камеры, начнет колебаться с частотой прерывания обоих потоков лучей.

Колебания мембраны прекратятся, когда давление в приемных камерах будет одинаковым, т. е. когда потоки инфракрасных лучей, поглощаемые в камерах *6* и *9*, будут равны между собой. При разных концентрациях контролируемого газа в рабочей и сравнительной камерах это может быть достигнуто изменением интенсивности излучения одного из источников. Если, например, включить реостат R в цепь питания источника *1*, то, перемещая движок реостата, можно так подобрать ток для его спирали, что оба потока, попадающие в приемные камеры, будут одинаковы. В связи с этим каждому положению движка реостата соответствует определенная концентрация контролируемого газа.

Определенная связь концентрации контролируемого газа с положением движка реостата R дает возможность по показаниям стрелки указателя *4*, скрепленного с движком реостата, определить концентрацию указанного газа.

Перемещение движка реостата при измерениях производится автоматически реверсивным двигателем *РД*, управляемым выходным напряжением усилителя, на вход которого подается сигнал от конденсаторного микрофона *М*.

Сигнал микрофона имеет частоту 5 *гц* и не превышает нескольких микровольт. Усиление такого сигнала возможно только при весьма тщательном экранировании входных цепей усилителя, отсутствии ложных сигналов от толчков напряжения источников анодного и накального питания и других причин.

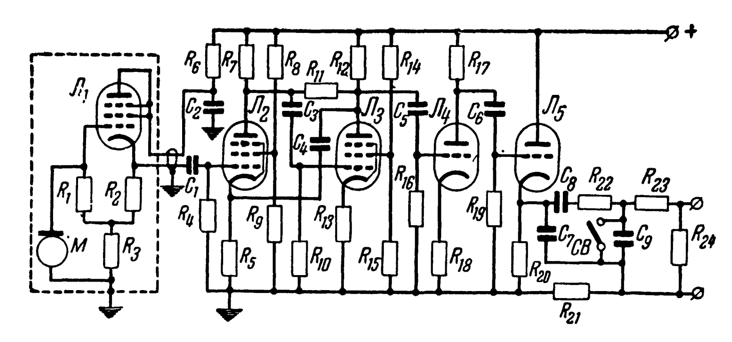
На фиг. 33 приведена принципиальная схема предварительного усилителя, который усиливает сигналы микрофона *М*.

Микрофонный каскад, собранный на лампе $Л_1$, помещен непосредственно в приемной камере газоанализатора в экранированном корпусе. Каскад связан с остальной схемой экранированным кабелем. Этот каскад работает в режиме катодного повторителя, обеспечивающего высокое входное и низкое выходное сопротивления. Первое необходимо для хорошей работы микрофона *М*, а второе — для удовлетворительного согласования катодного повторителя с кабелем, соединяющим микрофонный каскад с первой лампой усилителя.

Напряжение, поступающее на сетку лампы $Л_2$, в дальнейшем усиливается реостатным усилителем, собранным на

лампах $Л_2$, $Л_3$ и $Л_4$. Сигнал, снимаемый с нагрузки лампы $Л_4$, подается на катодный повторитель с лампой $Л_5$. Напряжение на выходе катодного повторителя выпрямляется синхровыпрямителем *СВ*, механически связанным с двигателем *Д*, вращающим обтюратор (фиг. 32).

Контакт синхровыпрямителя замыкается на время, в течение которого обтюратор не пропускает инфракрасные лучи в камеры и размыкается на время пропускания этих лучей. В результате работы синхровыпрямителя на сопро-



Фиг. 33. Принципиальная схема усилителя для газоанализатора

тивлении выделяется постоянное напряжение, знак которого зависит от того, больше или меньше концентрации контролируемого газа по сравнению с нормальной. Выпрямленное напряжение подается на дальнейшее усиление и управляет реверсивным двигателем.

Предварительный усилитель стабилизирован отрицательной обратной связью. Независимая от частоты обратная связь осуществляется через сопротивление R_{11}, а зависимая — через конденсатор C_4. Введение отрицательной обратной связи, увеличивающейся с частотой, дает возможность создать избирательную схему усиления.

Для уменьшения наводок переменного тока через цепи накала питание их в рассматриваемой схеме усилителя производится выпрямленным напряжением.

ЛИТЕРАТУРА

Б. С. Сотсков, Элементы автоматической и телемеханической аппаратуры, Госэнергоиздат, 1950.

П. В. Новицкий и М. М. Фетисов, Измерительный усилитель с охватом обратной связью демодулятора, „Измерительная техника", № 4, 1955.

А. М. Туричин, Электрические измерения неэлектрических величин, Госэнергоиздат, 1954.

Ф. Е. Темников и Р. Р. Харченко, Электрические измерения неэлектрических величин, Госэнергоиздат, 1948.

С. А. Клементьев, Автоматика и телемеханика, Гостехиздат, 1955.

В. М. Шляндин, Элементы автоматики и телемеханики, Оборонгиз, 1954.

Н. О. Чечик, Фотоэлементы и их применение, Госэнергоиздат, 1955.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 1 р. 50 к.